

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET**

MAŠA BOŽANIĆ

**UTJECAJ RAZLIČITIH
KONSTRUKCIJA MEMS INKJET
GLAVA NA KVALITETU
REPRODUKCIJE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2015



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

MAŠA BOŽANIĆ

**UTJECAJ RAZLIČITIH KONSTRUKCIJA MEMS INKJET
GLAVA NA KVALITETU REPRODUKCIJE**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
doc. dr. sc. Igor Majnarić

Student:
Maša Božanić

Zagreb, 2015

Rješenje o odobrenju teme diplomskog rada

SAŽETAK

Današnja Inkjet tehnologija otiskivanja omogućava komercijalna otiskivanja od jednog primjerka pa do nekoliko tisuća primjeraka. Na to značajno utječe jedan parametar, a to je veličina ispisne glave. MEMS Inkjet tehnologija omogućava ugradnju velikog broja mlaznica u ispisnu glavu, čime se dobiva veća širina ispisa i veća produktivnost. Cilj rada je istražiti da li se modularnim slaganjem manjih glava u jednu veću utječe na buduću kvalitetu inkjet otiska te da li pritom nastaju kakve anomalije na otisku.

U ovom radu ispitano je kako multipliciranje ispisnih glava utječe na kvalitetu kolorne reprodukcije. Pritom će se ispitivati otisci dva Durstova UV Inkjet printera: modela Rho 512 i modela Omega 2 koji koriste dvije vrste inkjet boja: UV inkjet boju (Rho Roll) i UV LED boju (Omega Ink). U istraživanju se koristio ofsetni otisak kao referentni otisak. Dobiveni otisci kolorimetrijski su mjereni sa spektrofotometrom x-rite eXact te analizirani korištenjem mikroskopa Leice DM 2500. Sustav za slikovnu analizu Personal IAS korišten je za detaljnu analizu tiskovnih elemenata. Pritom je izvršeno mjerenje cirkularnosti, promjera rasterskih elemenata, početnog i završnog zamućenja, širine linije te distribuciju otisnutih rasterskih točkica. Rezultati pokazuju da manje ispisne glave mogu ostvariti veću kvalitetu otiska. Takvi otisci su oštiri, imaju manje satelitskih kapljica i promjer rasterskih elemenata je manji. Najbolja kvaliteta otiska postiže se na stroju Durst Omega 2 u žutoj boji gdje su najveće osilacije u veličini rasterskih elemenata u odnosu na Durst Rho 512 ($\Delta d_{\text{Omega-Rho_30\% RTV}} = 40,18$).

Ključne riječi: Inkjet, MEMS tehnologija, ispisna glava, ofsetni otisak

ABSTRACT

Today's Inkjet printing technology allows commercial printing from one copy to several thousands of copies. This is greatly affected by a single parameter, the size of the printhead. MEMS Inkjet technology enables the installation of a large number of nozzles in the printhead that provides larger print width and higher productivity. The aim was to investigate whether the modular stacking of smaller heads into a larger has influence on the future quality of inkjet prints and whether any anomalies arise on the print.

In this paper it was tested how the multiplication of printheads affects the quality of colour reproduction. Tested prints were printed on two Durst's UV inkjet printers: the model Rho 512 and model Omega 2. Two types of inkjet color were used: UV Inkjet color (Rho Roll) and UV LED color (Omega Ink). Offset print was used in the experiment as a reference. Obtained colorimetric prints were measured with a spectrophotometer X-Rite eXact and using the Leica DM 2500. The system for image analysis Personal IAS was used to measure the circularity, the diameter of the raster dots, beginning and ending blur, line width and the distribution of printed raster dots. Smaller printheads can achieve prints with higher quality. These prints are sharper, have less satellite droplets and the diameter of the screen elements is smaller. The best image quality is achieved on the machine Durst Omega 2 in yellow where there is the greatest oscillation in the size of screen elements in relation to the Durst Rho 512 ($\Delta d_{\text{Omega-Rho}_30 \text{ RTV}} = 40.18\%$).

Key words: Inkjet, MEMS technology, printhead, offset print

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Preduvjeti za razvoj industrijskog Inkjeta	2
2.1.1. Razvoj Inkjet tehnike tiska.....	2
2.1.2. Razdoblje razvoja kontinuiranog Inkjeta i Inkjet principa kapanja na zahtjev	5
2.1.3. Primjena termalnog Inkjeta.....	8
2.1.4. Povećani opseg primjene Inkjeta i tehničke varijacije u konstrukciji	11
2.2. Budućnost Inkjet tehnologije otiskivanja	16
2.3. Karakteristike Inkjeta.....	19
2.3.1. Djelovanje Inkjet boje.....	19
2.3.2. Rukovanje tiskovnim podlogama za Inkjet tisak	21
2.3.3. Brzina Inkjet tehnike tiska	22
2.3.4. Pouzdanost Inkjet tehnike tiska	23
2.3.5. Odnos kvalitete i cijene inkjet otiska.....	23
2.4. Inkjet ispisne glave	26
2.4.1. MEMS tehnologija Inkjet ispisnih glava	27
2.4.1.1. Povijest i upotreba MEMS tehnologije.....	29
2.4.1.2. Proizvođači Inkjet ispisnih glava.....	29
2.4.2. Konstrukcija MEMS ispisnih glava.....	30
2.4.2.1. Konstrukcija ispisne glave s pločastim sistemom za izbacivanje boje.....	31
2.4.2.2. Konstrukcija ispisne glave s mikro grijačem za stvaranje mjehurića	32
2.4.2.3. MEMS ispisne glave kod piezoelektričnog Inkjeta	33
2.4.2.4. Poboljšanja u dizajnu MEMS ispisne glave	36
2.5. Tiskarske boje koje suše UV LED žaruljama	37
2.5.1. Karakteristike UV LED-a i princip sušenja	37
2.5.2. Razlika između živine i LED žarulje	38
2.5.3. Prednosti UV žarulja	39

2.5.4. Nedostatci UV žarulja.....	41
2.5.5. Prednosti korištenja UV LED žarulja	42
2.5.6. Nedostatci UV LED žarulja	41
2.5.7. Vrste UV LED žarulja	42
2.5.8. Priprava UV boja i UV lakova	42
3. EKSPERIMENTALNI DIO	46
3.1. Plan rada i metode istraživanja	46
3.2. Materijali korišteni u istraživanju	49
3.2.1. Tiskovne podloge	49
3.2.1.1. Heytex Frontlit light eco	49
3.2.1.2. TriSolv Paper Sattin	49
3.2.2. Inkjet tiskovna boja	50
3.2.2.1. UV LED inkjet boja	50
3.2.2.2. Rho Roll inkjet boja	51
3.2.2.3. Sunlit Express ofsetno bojilo	51
3.3. Strojevi korišteni za otiskivanje uzoraka	51
3.3.1. Durst Omega 2	51
3.3.2. Durst Rho 512R	53
3.4. Uređaji korišteni u istraživanju	55
3.4.1. x-rite Exact	56
3.4.2. Leica DM 2500	56
3.4.3. Personal IAS	57
4. REZULTATI I RASPRAVA	60
4.1. Krivulje reprodukcije	60
4.2. Promjeri rasterskih elemenata	62
4.3. Distribucija rasterskih elemenata	64
4.4. Cirkularnost rasterskih elemenata	70
4.5. Kvaliteta reprodukcije linije fonta od 4 pt	74
4.6. Zamućenje linije	77
5. ZAKLJUČCI	79
6. LITERATURA	82
7. PRILOZI	84

1. UVOD

U grafičkom otiskivanju Inkjet tehnika tiska ima veliku konkurenciju u tehnikama sitotiska, fleksotiska i litografije. Međutim, mogla bih se primijeniti u velikom broju komercijalnih primjena. Trenutne mogućnosti industrijskog procesa Inkjeta zahtijevaju poboljšanja kako bi se zadovoljile potrebe koje zahtijeva suvremena grafička proizvodnja. Kako bi se postigao visokokvalitetni Inkjet otisak koriste se ispisne glave čija je rezolucija veća od 600 dpi. Međutim, velika rezolucija obično uzrokuje i pad produktivnosti (mala brzina tiska). Kako bih se uskladile visoka rezolucija i željena brzina tiska potrebne su nove konstrukcije glava koje će zadržati rezoluciju te povećati zonu otiskivanja. Ispisne glave nastale modularnim slaganjem manjih glava u jednu veću mogle bih ostvariti željene brzine tiska i visoku kvalitetu otiska. Cilj ovog rada je istražiti da li nova konstrukcija ispisnih glava utječe na buduću kvalitetu otiska, te da li pritom nastaju kakve anomalije na otisku. Hipotezom se pretpostavlja da će se pri reprodukciji najsvjetlijih rasterskih tonova uočiti nepravilnosti u realizaciji rasterskih elemenata i konačne kolorne slike.

Za pretpostaviti je da će povećanjem ispisne glave doći do povećanja brzine otiskivanja, ali i do smanjenja kvalitete otiska. U radu se dobivene vrijednosti Inkjet otisaka uspoređuju s vrijednostima ofsetnog otiska koji svojom kvalitetom reprodukcije nadmašuje kvalitetu reprodukcije Inkjeta. Ofsetni otisci nemaju problema sa stvaranjem satelitskih kapljica i formiraju oštre rubove. Povećanje kvalitete Inkjet otisaka prvenstveno se može postići primjenom posebnih tiskovnih podloga (s premazima koji će utjecati na raspršenje kapljica boje) te promjenama u formulaciji boje (kako bih se postigla veća pouzdanost Inkjet tiska). Inkjet tisak može ponuditi značajne prednosti u odnosu na konvencionalne tehnike tiska (nema uhodavanja stroja, nema promjene ploča, mogućnost otiskivanja promjenjivih podataka). Međutim, i dalje ne može postići kvalitetu koju kupci očekuju. Zbog principa otiskivanja za očekivati je nastajanje anomalija u cirkularnosti, spajanje rasterskih elemenata povećanjem rastertonske vrijednosti, manji kontrast otiska i povećana zamućenost rubnih linija otiska. Očekuje se da će nedostaci Inkjet otisaka biti vidljiviji na otiscima postignutim većom ispisnom glavom na stroju Durst Rho 512, unatoč tome što je riječ o istom tipu ispisnih glava kao kod Durst Omega 2 (varijacija je samo u veličini).

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Preduvjeti za razvoj industrijskog Inkjeta

Izraz „potreba je majka izuma“ svakako se može primijeniti i na Inkjet tisak. U 19. stoljeću znanstvenici su istraživali fizikalni proces kapanja tekućina koji stoji u pozadini Inkjet tehnologije, ali primjena otkrivenih načela počela se koristiti pola stoljeća kasnije. Znanstveni radovi iz 19. stoljeća postavili su temelje za izradu kontinuiranog i piezoelektričnog Inkjeta koji je i ostvaren krajem šezdesetih. Brzi rast informatičkih sistema tijekom šezdesetih potakao je pronalaženje dobrih načina za zapisivanje elektronički stvorenih i pohranjenih slika. Prije početka široke upotrebe Inkjeta, odnosno pojave računala, koristila su se analogna mjerenja i elektronički instrumenti koji su bili temeljeni na raznim oblicima mehaničkih crtača olovaka. [1]

Inkjet tehnika otiskivanja može se smatrati pojmom koji pokriva raspon tehnologija koje uključuju formiranje kapljica boje u pisače glave iz kojih se direktno nanosi na tiskovnu podlogu. Od sedamdesetih, kada je Inkjet tehnika tiska prvi put komercijalno primijenjena, omogućeno je precizno nanašanje tekućina malog volumena (velikom brzinom) pod digitalnom kontrolom. Ključna karakteristika sistema je da je riječ o beskontaktnoj tehnici tiska. Inkjet ima veliki potencijal za tisak, no također ima potencijal kao metoda industrijskog premazivanja. Pritom se kapljice precizno nanašaju što se može koristiti u farmaceutskoj, biokemijskoj i kemijskoj industriji. Danas je ovaj princip iskorišten za izgradnju trodimenzionalnih predmeta (3D tisak). [2]

2.1.1. Razvoj Inkjet tehnike tiska

Kako su se u kasnim pedesetima i ranim šezdesetima razvila prva računala, pojavila se potreba za brzim digitalnim tehnikama tiska. Nekoliko tehnika se izdvojilo jer su temeljene na beskontaktnosti. M. Naiman, izložio je (1962. godine) patent koji prethodi termalnom Inkjetu, gdje se kapljica pod tlakom ispušta iz točno poredanih i selektivno otvaranih mlaznica. [1] Tako oslobođena boja se usmjerava na papir kako bi se formirale zasebne rasterske točkice. Odgovarajućom selekcijom pozicije i broja kapljica, otisnuo bih se željeni motiv. Svaka mlaznica formira kapljice boje zatvaranjem i otvaranjem mikro ventila. Boja bi bila smještena u komori koja je direktno spojena s mlaznicom čiji vrh dodiruju dvije elektrode. Da bi se Inkjet boja zagrijala do temperature vrenja potrebno

je ostvariti električni impuls koji će povećati napon na elektrodama. Pritom je ostvarena dodatna toplinu što ima za posljedicu stvaranje pare koja će poslužiti za izbacivanje Inkjet boje iz mlaznica. Naimanov koncept je utemeljio koncept termalnog Inkjeta koji će se kasnije modificirati i ostvariti veliki uspjeh u printerima za kućnu upotrebu. [3]

R. Sweet je 1963. godine na Stanfordskom sveučilištu eksperimentirao s akustičnim stimulacijama na Inkjet kapilarnim cjevčicama. Time je uspio sinkronizirano izbacivati kapljice različitom frekvencijom simultirane stimulacije. Kako je svaka kapljica bila zasebno nabijena, bilo ih je moguće individualno skretati. Njegov izum nazvan je Inkjet oscilograf. [4]

Stanfordski istraživački centar prilagodilo je Sweetov koncept za otiskivanje prvih bar kodova. Primijenjena fluorescentna boja bilo je nabijena i usmjerena tako da ispisuje linije bar koda na kreditnim karticama i drugim fizičkim dokumentima korištenim prvenstveno za bankovne transakcije. Beskontaktni proces i velika brzina ovoga novog kontinuiranog Inkjeta bila je idealna za dokumente koji su trebali biti odmah sortirani i isporučeni.

A.B. Dick prepoznao je potencijal kontinuiranog Inkjeta. Na bazi Sweetova patenta za izbacivanje kapljica te Sweetova i Cummingova patenta za slaganje redova mlaznica omogućio je konstrukciju kontinuiranog Inkjeta koji binarno skreće kapljice. Kako je kombinirao elemente oba patenta, omogućeno je akustično sinkronizirano izbacivanje kapljice, individualno nabijanje kapljica, skretanje kapljica u letu i oblikovanje motiva reproduciranih točkica. Motivi su bili otiskivani usred djelovanja različite vrijednosti napona, pri čemu su kapljice skretale na željeni položaj. U kombinaciji sa sinkroniziranom aktivacijom izbacivanja kapljice i kretanja tiskovne podloge ostvarit će se vrlo brzo otiskivanje. A.B. Dick je 1968. godine predstavio svoj Videojet 9600 teleprinter koji je ujedno bio i prvi kontinuirani Inkjet printer na svijetu.

Drugi nastao oblik tiska principom kapanjem na zahtjev (elektrostatički) razvijen je u šezdesetim godinama 20. stoljeća. Provodljiva boja zadržavana je u mlaznicama negativnim podtlakom. Primjenom visokog napona na elektrode oko mlaznica ostvareno je izbacivanje nabijene kapljice Inkjet boje. Stvaranjem horizontalnih i/ili vertikalnih polja skretanja, nabijene kapljice skretale su se na tiskovnu podlogu te ostvarile otisnuti motiv. Podružnica firme Hermes Precisa International, razvila je ovaj oblik Inkjeta za

moću upotrebu umjesto pisaćih strojeva i kalkulatora. Pomična glava takvog printera može ispisati liniju širine od 22 slova znaka, međutim uređaj je testiran samo interno i nikada nije pušten u proizvodnju. Palliardu je registrirano nekoliko patenata koji su kasnije bili licencirani od tvrtke Casio iz Japana. Casio je investirao i u bez kontaktne tehnologije tiska koje su mogle otiskivati japanske slikovne znakove. Pritom je preradio je Palliardov prototip iz šezdesetih godina pri čemu je zamijenio digitalnu kontrolu kapanja sa analognim. To je omogućilo bolje otiskivanje japanskih slikovnih znakova. Casio je predstavio svoj prvi printer 1970. godine koji je mogao otiskivati liniju od 32 znaka, brzinom od 33 znaka u sekundi. Taj printer je povučen i zamijenjen godinu dana kasnije modelom 500 Typewriter koji je ujedno bio i najprodavaniji Inkjet printer u ranim sedamdesetima.

U SAD-u, Teletype Corporation of Skokie je u kasnim šezdesetima predstavila stroj sličan Casiovom. Međutim proces otiskivanja bio je nepouzdan i loše kvalitete. Tijekom razvoja patenata, (1967. godine) Teletypov radnik, J. Berry predložio je ugradnju dodatne periodičke elektrostatičke stimulacije koja je bolje sinkronizirala prekidanje mlaza. Ovaj novi element promijenio je proces elektrostatičkog povlačenja čime su se ostvarile dodatne prednosti Sweetovog procesa kontinuiranog Inkjeta. Međutim, Teletype se odlučio povući iz razvoja Inkjeta i koncentrirati se na termografsko otiskivanje i unaprjeđenja takvog tiska.

Do kraja šezdesetih samo se je još nekoliko Inkjet strojeva predstavilo javnosti. To su A.B. Dickov Videojet 9600, Casiov prvi printer kalkulator i Teletypov računalni terminal. Od svih tih strojeva samo nekoliko stotina je prodano jer su povučeni zbog problema pouzdanosti i loše kvalitete otiska. Međutim, entuzijazam za Inkjetom bio je velik u mnogim laboratorijima za razvoj IT tehnologije i kompanijama povezanim s razvojem printera, pisaćih strojeva, kalkulatora i industrijskog označavanja kodova. [1]

2.1.2. Razdoblje razvoja kontinuiranog Inkjeta i Inkjet principa kapanja na zahtjev

Tijekom sedamdesetih godina prošlog stoljeća rad na elektrostatičkom privlačenju zamijenjen je istraživanjem kontinuiranog Inkjeta i Inkjeta koji sadrži piezoelektrični aktivirajući element. Aktivnosti oko kontinuiranog Inkjeta bile su podijeljene između binarnog skretanja i višestrukog skretanja. Pri korištenju piezoelektričnog elementa u

sistemu kapanja na zahtjev, primarna razlika bila je način korištenja i konfiguracije piezoelektričnog materijala. [1]

A.B. Dick predstavio je liniju industrijskih strojeva za označavanje koja je razvijena sa američkom tvrtkom Can Company i na tržištu je predstavljena početkom 70-tih godina prošloga stoljeća. Pritom su iskorištene prednosti beskontaktnog sinkroniziranog Inkjeta kako bi otisnule nepravilne površine grafičkog proizvoda koje su se kretali velikom brzinom (u proizvodnoj liniji). Videojet strojevi bili su izrađeni u više konfiguracija (za otiskivanje različitih znakova, bar kodova, matrica različite gustoće znakova) uz mogućnost korištenja više Inkjet glava u jednom sistemu. Ovaj pionirski kontinuirani Inkjet sistem pokazao se vrlo pouzdanim kod etiketiranja i kodiranja proizvoda. [3]

Istovremeno, A.B. Dick i Stanford Research Institute razvili su svoj sistem brzog unosa podataka za bankarsku industriju. Glavni element ovog sistema bila je ispisna glava kontinuiranog Inkjeta koja je ispisivala bar kod linije skretanjem dugog niza nabijenih kapljica. Fluorescentna boja koja se primjenjivala prepoznaje se kao niz zakrivljenih narančastih linija na pozadini otisnutih računa. Takav REI-ov TRACE proizvod prvi puta je postavljen u Citibank u New Yorku 1973. godine.

Tijekom kasnih šezdesetih Mead je kupio prava na Cummingtonov i Sweetov patent nastavivši s radom na velikim sinkroniziranim mlaznicama. Godine 1973. predstavio je svoj prvi DIJIT (*Digital Image by Jet Ink Transfer*), ispisnu glavu s 512 mlaznica, širine od 5" i rezolucije od 100 dpi. Elektronička podrška i brzina kapljica mogli su pratiti pomicanje tiskovne podloge od 186 metara u minuti. Binarno skretajućim kontinuiranim Inkjetom tako je bilo moguće proizvesti mnoštvo kapljica u jednoj sekundi da je samo brzo kretanje tiskovne podloge to moglo iskoristiti. Koncept Meadovog početnog proizvoda bio je konfiguriran za strojeve za tisak iz role. Međutim, kasnije je Mead predstavio verzije DIJIT koje su mogle otisnuti liniju u širini od 10.66", u rezoluciji od 120 dpi uz brzinu kretanja role od 248 metara u minuti. Takvi DIJIT strojevi postali su popularni u oglašavajućoj industriji i proizvodnji milijunskih personaliziranih grafičkih proizvoda.

Krajem 1970. godine Mead je počeo s razvojem uredskog printera koji se je temeljio na principu binarnog skretanja, Inkjet konstrukciji manjih gabarita i većoj rezoluciji. Tako

je arak papira bio je postavljen s vanjske strane rotirajućeg bubnja kako bi se postigla zadovoljavajuća brzina tiskovne podloge potrebna za nužno nanašanje kapljica. [1]

Tijekom sedamdesetih i tvrtka IBM je uložila veliku količinu tehnološkog talenta i financijskih sredstava za razvoj svojih tipova Inkjeta. Godine 1976. uspjeli su predstaviti proizvod IBM 6640. Model IBM 6640 je nastao zajedničkim radom IBM ekipe iz Kentuckya (zaduženi za razvoj stolnih pisača) i inženjera iz tima iz Texasa (zaduženi za razvoj uredskog sistema). Sam stroj bio je značajan iz nekoliko razloga. Bio je to prvi Inkjet sistem koji je postigao kvalitetu 240 dpi. Jedinica za otiskivanje bila je ugrađena u sistem koji je imao dvije ulazne jedinice i automatski ulagač kuverti. Brzina otiskivanja iznosila je 92 znaka u sekundi što je tada pisaču IBM 6640 osiguralo mogućnost otiskivanja umjetničkih reprodukcija (slika). Model IBM 6640 nije ostvario veći prodajni uspjeh zbog čega je IBM izgubio entuzijazam za razvoj Inkjeta i započeo s razvojem elektrofotografije i termotransfernih pisača. [4]

Sharp kompanija iz Japana proizvela je kontinuirani Inkjet sistem za uredsko ispisivanje nekoliko godina prije od IBM-ove 6640. Njegov proizvod Jetpoint predstavljen je točno 1973. godine i prodavao se samo na japanskom tržištu. Otiskivao je alfanumeričke ili japanske znakove niskom rezolucijom i brzinom 330 znakova u sekundi. Do 1979. godine Sharp je unaprijedio ispisnu rezoluciju čime je omogućio otiskivanje japanskih znakova u matrici 40 x 40, ostvarujući pritom ispisnu rezoluciju od 300 dpi. Princip rada unaprijeđene verzije Jetpointa bio je tehnički jednak izvedbi IBM-ove 6640.

U to vrijeme jedna značajka u razvoju kontinuiranog Inkjeta bila je izvedba printera u boji (1977. godine). Takav kolorni printer bio je baziran na istraživanju profesora Hertza iz Švedske. Osnova printera bio je rotirajući bubanj na kojem je pričvršćen poseban Inkjet papir veličine 22" x 34". Cijan, magenta i žuta ispisna glava bile su aksijalno translaticane pomoću glavnog vijka kako bih se formirala konačna slika u boji. Rezolucija slike bila je samo 125 dpi. Applicon je bio prvi Inkjet model dostupan za tisak u boji. Iako komercijalno nije bio uspješan, bio je prethodnik IRIS stroja visoke rezolucije koji je predstavljen kasnije u osamdesetim godinama prošloga stoljeća.

Za začetak tiska na zahtjev važna su tri patenta. S. Zoltan predstavio je patent korištenja šuplje cjevčice rađene od piezoelektričnog materijala koja je pritiskala komoru s bojom i istiskivala kapljice iz mlaznice. N. Stemmov patent koristio je ravnu pločicu od

piezoelektričnog materijala koji je deformirao prednji dio mlazne komore ispunjene s bojom i tako izbacio kapljicu. Treći patent (prijavljen 1976. godine) primijenio pravokutne pločice od piezoelektričnog materijala koje su deformirale samo vrh mlazne komore ispunjene s bojom.

U sva tri patenta, osnovni princip bio je pretvoriti puls električne energije u mehanički pomak (pritisak) dovoljan da se svlada površinska napetost koja je držala boju u mlaznici. Kapljice su bile formirane samo onda kada je piezoelektrični materijal bio nabijan, odnosno, kada je to stvarno bilo potrebno. Taj proces bio je mnogo jednostavniji od kontinuiranog Inkjeta. Kapanje na zahtjev nije zahtijevalo prekidnu sinkronizaciju, elektrode za skretanje, sustav skupljanja suvišne boje i recirkuliranje, visoki pritisak kod dovođenja boje i kompleksne uključno-isključne elektroničke sklopove. Da su ova tri patenta veoma važna pokazuje činjenica da su do 1999. godine autori bili citirani u preko 100 drugih patenata te su mnoge kompanije krenule u razvoj Inkjeta primjećujući ova tri patenta. [1]

Prvi piezoelektrični inkjet printer kapanja na zahtjev pojavio se 1977. i to je bio Simensov PT-80. Njegove ispisne glave su mogle biti odvojive što je omogućilo zasebno dovođenje boje te otiskivanje u koloru s rezolucijom od 120 dpi. [4] Sionics iz Kalifornije je drugi predstavio piezoelektrični pisač principom kapanja na zahtjev. To je model Quietype i predstavljen je u srpnju 1978. godine. Radovi na njemu su počeli 1969. godine i trebalo je 8 godina da izađe na tržište. Tvrtka Sionics je radila s tvrtkom Konishiroku kako bi razvili odgovarajući *hardware* stroja. Njihov printer imao je sedam ispisnih glava nepravilnog oblika zahvaljujući korištenju Corning fotoosjetljive keramike Fotoceram. [1]

Tijekom sedamdesetih nekoliko je važnih Inkjet pisaa došlo na tržište. Meadovi DIJIT demonstrirali su beskontaktno otiskivanje iz role, IBM 6640 pokazao je kontinuirani Inkjet s skretanjem kapljica u više pozicija. Applicon pisač je demonstrirao potencijal Inkjeta za tisak u boji. No, nijedan od proizvoda nije bio dovoljno pouzdan i nije imao dovoljnu kvalitetu otiska. Samim time nijedan nije ostvario financijski uspjeh svojim izumiteljima. [3]

2.1.3. Primjena termalnog Inkjeta

Početkom osamdesetih godina prošloga stoljeća mnoga Inkjet istraživanja i razvojne grupe težili su za višom kvalitetom otiska, prihvatljivim cijenama i pouzdanom konstrukcijom. Kontinuirani Inkjet do tada je nudio male kapljice, ali i veliku kvalitetu tiska. Takvi strojevi bili su skupi za izradu grafičkih aplikacija te je bilo potrebno iskustvo operatera da bi se na njima radilo. Piezoelektrični sistemi na zahtjev bili su puno jednostavniji i pouzdaniji. Međutim, ostvarenje visoke kvalitete i visoke produktivnosti zahtijevalo je puno usmjerenih Inkjet mlaznica.

Izum termalnog inkjeta promijenio je sliku Inkjeta iz temelja. Osnova termalnog Inkjeta je grijač koji je zagrijavao boju do vrenja te je bio je oko 1,000 puta manji od tipičnog piezoelektričnog elementa. Uz pomoć novog generatora kapljica dizajneri ispisnih glava mogli su ekonomično konfigurirati veliki broj mlaznica, postižući visoku rezoluciju, veliku frekvenciju kapljica i nisku cijenu otiska. Prvi javno predstavljeni termalni Inkjet tako je imao preko 3,000 mlaznica.

Canon je počeo razvijati termalni Inkjet kasnih sedamdesetih. Njegov prvi patent bio je povezan s bojom i nije imao veze s termalnom Inkjet glavom. Radi toga, bilo je iznenađujuće kada je Canon demonstrirao novu *bubblejet* tehnologiju 1981. godine. Proces isparavanja koji izbacuje kapljicu boje događa se u nekoliko mikro sekundi. Tanki sloj boje na bazi vode zagrijava se na temperaturi od 300 °C. Mjehurić koji nastaje nije zrak, već vodena para koja se brzo vraća u tekuće agregatno stanje. Dok god je temperatura ispod 70 °C, faza tranzicije para-voda, voda-para može se izvoditi više puta. Individualna termalna ispisna glava tako aktivira mikro kapljice primjenom impulsa mikroelektroničkih materijala. Ispisna glava je širine A4 stranice papira. Jedan ispisni modul je sadržavao 128 mlaznica od kojih ih je 13 postavljeno tako a dodiruju noseću ploču (sedam ih je na vrhu i šest je ispod). Moduli su spajani pomoću silicija kako bi se stvorio niz od 128 mikro grijača. Sloj koji drži mlaznice i kanale za dovod boje naziva se fotokeramički sloj. Od ukupno 1,684 proizvedenih ispisnih glava samo dvije su korištene za ispis crvenih i crnih motiva. Dokument koji se tako otisnuo sadržavao je crne i crvene slovne znakove te se je mogao skenirati na plošnom skeneru. Crvene i crne kopije su nakon toga ispisivane brzinom od 10 kopija u minuti.

Canonova demonstracija pisača iz 1981. godine koristila je papir sa specijalnim Inkjet premazom. Korištenjem takvog papira, izbjegla su se dva inkjet problema: loše sušenje otiska na običnom papiru i loše ulaganje arka papira. Svjetska prezentacija je promijenila Inkjet svijet jer je do tada bilo teško zamisliti konfiguraciju piezoelektričnog inkjeta koja sadrži ispisnu glavu od 1,664 mlaznica. Također, istraživači koji su nastojali stvoriti veće glave u kontinuiranom Inkjetu bili su zadivljeni jednostavnošću i kompaktnošću termalnog Inkjeta. Međutim, da bi se prihvatio tehnološki značaj termalnog Inkjeta bilo je potrebno još nekoliko godina. Xerox koji je od 1977. godine istraživao samo kontinuirani Inkjet, već je nekoliko mjeseci nakon Canonove demonstracije počeo razvoj svog termalnog Inkjeta (tri godine kasnije obustavio rad na kontinuiranom Inkjetu). [1]

Dvije i pol godine nakon revolucionarne Canonove demonstracije, Hewlett-Packard (HP) je predstavio svoj pisač ThinkJet. Do tada HP nije bio aktivan u području razvoja Inkjet patenata, ali i na Inkjet tehničkim konferencijama. Najveće iznenađenje ThinkJeta bilo je to što je temeljen na termalnom Inkjet procesu i da su ispisna glava i spremnik boje bili jednokratni. Kvaliteta ispisa nije bila impresivna. Međutim, mala veličina pisača i ispisne glave bila je cijenom povoljna (7,95 dolara). [3]

Canonova i HP-ova demonstracija predstavili su termalni Inkjet kao tehnologiju budućnosti za uredske pisače. Do sredine osamdesetih Inkjet istraživanja koncentrirala su se samo na termalni Inkjet. Canon je tijekom 1981-1984 godine izdao brojne nove patente koji su se odnosili na bolje korištenje termalnog Inkjeta. Ta prava odlučio je ustupiti samo nekolicini proizvođača: HP, IBM, Xerox, Olivetti i Kodak. Međutim, nijedan drugi japanski proizvođač nije dobio licencu korištenja.

Tijekom osamdesetih godina razvoj piezoelektričnog Inkjeta bio je u sjeni termalnog Inkjeta. Mnoge tvrtke zbog Canonove kontrole patenata termalnog Inkjeta nisu mogle sudjelovati u njegovom razvoju. Neke od njih su pokušale razviti oblik vrućeg piezoelektričnog Inkjeta kako bi se dobio bolji otisak od otiska s bojom na bazi vode. Početkom devedesetih tvrtke Spectra, Howtek, Tektrinox i Dataproducts razvili su takve pisače u boji. Međutim, najveću prihvaćenost takvog tipa pisača imao je Tektronixov Phasar 340.

Kontinuirani Inkjet za uredsku primjenu je u potpunosti završio svoj razvoj. Jedini značajni primjer bio je DIJIT 1 (mali pisač baziran na binarnoj skretajućoj ispisnoj glavi).

DIJIT 1 nudio je najveću kvalitetu ispisa od svih pisača kontinuiranog Inkjeta (300 dpi). Međutim, brzinom se nije mogao natjecati s elektrofotografskim tiskom. Neke od DIJIT ispisnih glava preživjele su u poboljšanom obliku. To su Scitex-ovi pisači koji su tiskali iz role brzinom od 155 metara u minuti.

Poslije predstavljanja ThinkJeta, Canon i HP predstavili su svoje nove proizvode gotovo svake dvije godine. Prvi Canonov proizvod bio je BJ-80 (predstavljen 1985.godine). BJ-80 je imao trajnu termalnu ispisnu glavu sa 24 mlaznice. Godinu ranije je na svom sajmu pokazao tri važna koncepta. Prvi je bio uredski printer koji je koristio četiri ispisne glave od kojih je svaka imala 24 mlaznice (za ispis crne, cijan, žute i magenta boje). Drugi je bila poboljšana verzija pisača iz 1981. godine koja je sada nudila ispis u boji. Treći koncept bio je prototip pisača za kolorno otiskivanje formata A1. Brzina otiskivanja mu je iznosila 16 minuta.

Od 1999. godine, Canon je predstavljao svoje prototipe s ispisnim glavama širine stranice A4 papira. Međutim, nijedan od njih nije završio na tržištu. Pisač veličine A1 koji se je pojavio u ranim devedesetima bio je Pixel Jet. To je bila nadogradnja modela BJ-80 na BJ-130 (također monokromatski printer). Za razliku od HP-a, Canon nije predstavljao na tržištu kolorne pisače tijekom osamdeseti. Njihovi pisači su koristili trajne ispisne Inkjet glave i zamjenjive spremnike boje. Kao takvi mogli su trajati do preko 10^9 aktivacija, dok je HP-ov ThinkJet počeo javljati greške s grijačem nakon 10^7 izvršenih aktivacija.

HP je predstavio još dva značajna pisača u osamdesetima. Kolorni pisač PaintJet koji je imao 10 mlaznica za četiri boje i tri spremnika za dovod boje. Rezolucija otiska bila je 180 dpi, a za ispis cijele stranice bilo je potrebno približno 4 minute. Inovacija na ovom proizvodu bila je upotreba zajedničke silicijske podloge za sve ispisne glave (sve mlaznice na istom nosaču). Takav pristup osigurao je da će slike u boji imati pravilan registar. Korištene boje sadržavale su oko 50% vode što se nije pokazalo najbolje za termalni Inkjet. Još jedna inovacija bila je smanjenje prostora tako da su dovodi boja bili isprepleteni u jednu poliuretansku spužvu. Drugi značajni pisač bio je model Desk Jet. On je bio javnosti predstavljen 1987. godine (povijesno najznačajniji proizvod do tada). Imao je 50 ispisnih glava/dovoda boje koji su se zasebno prodavali za oko 30 dolara. Ispisivali su brzinom oko 500 stranica po satu u rezoluciji od 300 dpi. U to vrijeme cijena

mu je bila iznad 1,000 dolara što je za današnje vrijeme visoka cijena. Međutim, tada je to bila cijena koja je u potpunosti konkurirala sporim elektrofotografskim pisačima.

Osamdesete su bile desetljeće prihvatanja Inkjet tehnologije za uredsko poslovanje. Taj uspjeh bio je uvjetovan uspjehom termalnog Inkjeta i HP-ovog Desk Jeta. HP-ova inovacija sa zamjenjivim ispisnim glavama i spremnicima za boju uklonila je percepciju Inkjeta kao nepouzdanu tehniku tiska. Prodaja printera koji rade principom termalnog transfera se gotovo zaustavila. Međutim, laserska elektrofotografija nastavila je smanjivati cijene i bila je veliki konkurent za monokromatske Inkjet printere. Stoga, kako bi povećali prodaju, proizvođači Inkjeta prešli su na tisak u boji. [1]

2.1.4. Povećani opseg primjene Inkjeta i tehničke varijacije u konstrukciji

Devedesete godine prošlog stoljeća su svjedočile ekspanziji Inkjet printera, a posebice termalnog Inkjeta. Glavni trend bio je promjena boje u svakom mogućem trenutku. HP i Canon otvorili su put za snažniji utjecaj tvrtki Epson, Lexmark, Xerox i Olivetti. Tako su omogućene nove primjene kao što su Inkjet kopiranje, Inkjet kopiranje u boji, prijenosni Inkjet pisači veličine aktovke, multifunkcionalno ispisivanje i ispisivanje velikog formata. Raznovrsnost ponuđenih proizvoda bila je velika. Također, bilo je mnogo inovacija i napredaka u Inkjet bojama, materijalima i *softverima*. [1]

Godine 1991. HP je proširio DeskJet liniju predstavljanjem DeskJet 500 stroja koji je imao dva spremnika za boju. Prethodno poboljšana crna ispisna glava na 50 mlaznica korištena je u tandemu s tri nove boje. Korisnik je mogao birati između tiska u boji i crno-bijelog tiska te odvojeno mijenjati spremnik s crnom bojom i spremnik s ostale tri boje. Ispisna glava u boji imala je 16 mlaznica za svaku boju i bila je namijenjena ispisivanju rezolucije od 300 dpi. Kvaliteta slike u boji je i dalje bila problem u rubnim područjima i optička gustoća obojenja nije bila tako dobra na običnom papiru kao na specijalno premazanim papirima. Međutim, oštrina rubova i gustoća crne boje bila je zadovoljavajuća što je uvelike korigiralo nedostatke kolorne slike. [3]

Godine 1991., Canon je predstavio prvu verziju svog jednokratnog spremnika za termalni Inkjet BJ-10. Takva ispisna glava je imala 64 mlaznice u jednoj liniji i rezoluciju ispisivanja od 360 dpi. Canonovi prvi zamjenjivi spremnici imali su plošni oblik (kako

bih pomogli zadržati mali razmak glave u odnosu na papir). Važna inovacija bila je zajednička izrada uključenog tranzistora za snagu i grijača za toplinu. Canon ih je formirao tako da im daje impuls po cijeloj silicijskoj podlozi.

DeskJet 500C omogućio je razvoj Inkjet pisača velikog formata NovaJet 1992. Originalni NovaJet tako je sadržavao četiri ispisne glave. Tvrtka Encad je kupila DeskJet crne spremnike za boju i preinačila ih za dovod veće količine boje. Industrijski segment Inkjet tiska je tako narastao i prodaja zamjenskih boja bila je moguća za gotovo svaki *brend*. Također, Canon je povećao životni vijek grijača do 10^{10} (aktivacija).

Od predstavljanja PaintJeta 1986, HP je povećao sposobnosti termalnog Inkjeta u boji. Kod pisača PaintJet XL300 dodano je sušenje kako bih se poboljšala kvaliteta otiska na običnom papiru. Međutim, najvažniji napredak u ispisu na običnom papiru predstavljen je 1993. godine inovacijom HP-ovim DeskJet 1200C i Design Jet 650. Oba stroja koristili su iste spremnike za boju. Međutim, DeskJet 1200C je koristio aktivno sušenje i bio je namijenjen kolornom otiskivanju za uredsko poslovanje. Cijena mu je bila između 1,700 i 2,400 dolara (ovisno o primijenjenoj elektronici). Design Jet 650C bio je napravljen za visoko kvalitetno otiskivanje u velikim formatima i nudio je širinu ispisa od 24" i 36" uz cijene stroja od 10,000 dolara. Ovi proizvodi učinili su za Inkjet u boji ono što je DeskJet učinio za crno-bijeli ispis. To je ispis kvalitetnih slika u boji na običnom papiru po razumnoj cijeni.

Termalna Inkjet tehnologija kod DeskJet-a 1200C i Design Jet-a 650C sadržavala je nekoliko inovacija. Svaka zamjenjiva ispisna glava imala je 104 mlaznice raspoređene u dva reda. Spremnici boje su bili u ponudi od 25 dolara (crna) do 35 dolara (cijan, žuta i magenta). U spremnicima je ugrađen novi mehanizam koji je omogućavao potreban negativni pritisak, a pri čemu se nije mijenjala debljina spremnika.

Pomoću nekoliko dodatnih mehanizama Inkjet 1200C imao je superiornu kvalitetu ispisa na običnom papiru. Prvo, koristio je ugljikov crni pigment koji je smanjio pernatost slike i tzv. krvarenje (*bleeding*) crne boje. Papir je bio ulagan preko zagrijane površine kako bi mu se povećala temperatura prije ulaska u tiskovnu jedinicu. Time se je uklanjala zaostala vlaga i podizala temperatura celuloznih vlakana. Zagrijavanjem papira tako je omogućeno brže upijanje boje, formiranje oštrijih rubova i veća gustoća obojenja. Tako se je smanjilo stvaranje neravnina.

U srpnju 1993, Canon je predstavio BJC-600 baziran na tehnologiji 64 mlaznice i rezolucije od 360 dpi. Imao je četiri ispisne glave s po 64 mlaznice koje su se mogle mijenjati samo odjednom. Boje su bile pakirane u male spremnike, kako bi se smanjila dominacija HP-a ta snizila cijena Canonovim pisačima. Nakon toga na tržištu je došlo do rapidnog pada cijena pisača, ali i konstantnog rasta u brzini tiska i rezoluciji ispisa. Standardna rezolucija povećala se sa 300 dpi do 600 dpi odnosno sa 720 dpi na 1440 dpi.

Pisači kao što su DeskJet 1200C i BJC-600 nisu rezultirali očekivanim uspjehom. Razlog tomu bila je loša procjena potreba za kolornim otiskivanjem dokumenata. Pisači koji su imali isti broj mlaznica za sve procesne boje previše su snage utrošili na kolorni ispis što je smanjilo brzinu tiska crno-bijelih otisaka. Postojalo je tržište kojem je kolorni ispis bio važan, međutim on je zahtijevao najvišu kvalitetu reprodukcije.

HP je prilagodio brzinu crnog ispisa i ispisa u boji i 1995. godine predstavio dva nova pisača. DeskJet 1600C je bio preinačeni 1200C gdje je crna ispisna glava imala 300 mlaznica i rezoluciju ispisivanja od 600 dpi. Rezultat toga bio je da HP-ov pisač ima brz crno-bijeli tisak, uz standardno dobar tisak u boji na običan papir.

HP je također predstavio integriranu ispisnu glavu s tri boje čija je veličina bila slična novoj monokromatskoj glavi od 300 mlaznica. Takva ispisna glava imala je 64 mlaznice po boji i rezoluciju od 300 dpi. Ona se kombinirala s crnom ispisnom glavom s 300 mlaznica (pisač s dvije glave, DeskJet 850C). Takav pisač (s dvije glave) tada je predstavljao vrhunski printer visokih performansi.

Model DeskJet 200C se pojavio 1998 i bio je prvi HP-ov uredski pisač s odvojenim spremnicima i odvojenim ispisnim glavama. Spremnici su se mogli mijenjati zbog primjene HP-ovog modularnog sistema za dovod boje, čime se cijena kolorne kopije značajno smanjila.

Kako su termalne Inkjet glave postajale veće, bilo je logično promijeniti koncept izmjenjivih glava. Modularni sistem dovoda boje imao je posebne uređaje integrirane u spremnike koji su pomogli prepoznati količinu boje u spremniku i bolje nadzirati trenutak promjene ispisne glave. Samim tim, prisutnost ovih uređaja onemogućila je korištenje spremnika boje od drugih proizvođača.

Ostali proizvođači termalnog Inkjeta slijedili su HP u brzini crnog ispisa i cijeni ispisa u boji. Međutim, nitko od njih nije to uspio nadmašiti. Najbliži tomu bili su Xerox i Canon koji su uspjeli povezati memoriju s toplinskim aktivatorima snage i otpornicima topline (grijačima). Nekoliko proizvođača printera nastojalo je poboljšati nastajanje polutona ugrađujući različite gustoće boje za magentu i cijan (umjesto četiri, nudili su šest boja). Drugi proizvođači su smanjili veličinu kapljice kako bi omogućili bolju reprodukciju svijetlih tonova. Ovi pristupi na žalost smanjili su kvalitetu ostalih tipova fotografija (crnih i originalnih grafika u boji) u korist foto-realističnog otiskivanja.

Godine 1997. Canon je predstavio varijabilni termalni Inkjet. Riječ je o tehnologiji modulacije kapljice koja je imala mogućnost promjene odnosa kvalitete i brzine. Canonov pristup postavljao je dva ili više toplinska aktivatora u svaki mikro grijač. Različite veličine kapljica su izbačene dobivanjem impulsa jednog ili više grijača. Na primjer, ispisne glave BJC-600 mogle su proizvesti kapljicu normalne veličine i jednu koja je za 1/3 manja. 1998. godine Canon je objavio patent u kojem postoje tri različite veličine grijača po svakoj mlaznici. Dobivanjem električnog impulsa moguće je ostvariti osam različitih stanja koji će promijeniti veličinu kapljice. Takav je patent pokazao stvaranje kapljice u rasponu veličine 0 do 70 pl (u sedam neovisnih koraka).

Tijekom devedesetih godina većina razvojnih projekata piezoelektričnog Inkjeta bila je zaustavljena ili usmjerena na specijalne industrijske primjene za označavanje ambalaže. Pritom su se koristile sve Inkjet boje koje su bile na tržištu. [1]

XaarJet većinu devedesetih proveo je u usavršavanju metode proizvodnje gušćeg povezivanja piezoelektričnih mlaznica. Njegov pristup temeljio se na serijskoj izradi blisko raspoređenih utora koji su nastali urezivanjem (u različitim dubinama) piezoelektrične podloge. Izrezani utori postali su kanali boje, a prostori između utora bili su elementi za izbacivanja kapljica.

Japanski prodavač, Seiko-Epson nije odustao od razvoja te je nastavio s radom u piezoelektričnoj tehnologiji. Početkom 1993. godine, Epson je stavio u prodaju pisače Stylus 800 i Stylus 100 koji su bili bazirani na višeslojnoj piezoelektričnoj Inkjet tehnologiji. Pisači su ispisivali su monokromatske slike brzinom 180 znakova u sekundi u vrhunskoj kvaliteti (rubovi su bili oštri i nije bilo satelitskih kapljica). Ukupno je bilo 48 mlaznica koji su raspoređeni u 4 modula (po 12 mlaznica u svakom s razmakom od

0,028 mm). Takva gustoća mlaznica bila je najveća komercijalno proizvedena do tada. Kod ova dva pisača bila je i postignuta izvrsna uniformnost brzine i mali volumen izbacivanja kapljice. Piezoelektrični elementi formirani su stavljanjem vodljivog i piezoelektričnog materijala u slojeve kako bih se postigao jedan kompozitni materijal s velikim pomakom kada se primjeni napon. [3]

Tijekom devedesetih Epson je predstavio i seriju Inkjet pisača u boji s velikom kvalitetom ispisa. Proizveo je ispisne glave koje su koristile magentu i cijan manje svjetline. Također, bio je pionir u korištenju posebnih tiskovnih podloga za otiskivanje malih rasterskih elemenata koje formiraju kapljice. Korištenjem te tehnologije, Epson je bio prvi koji je proizveo prave rasterske slike kvalitete od 720 dpi. Slike izvrsne kvalitete, foto-realistični ispisi učinili su Epson najdražim odabirom korisnika digitalne fotografije. Proces piezoelektričnog Inkjeta dopuštao je sustavu kontrolu pritiska i širine komore za ispuštanje kapljice. Samim time Epson je iskoristio tu sposobnost kako bi povećao frekvencije kapanja te modulirao volumen kapljice.

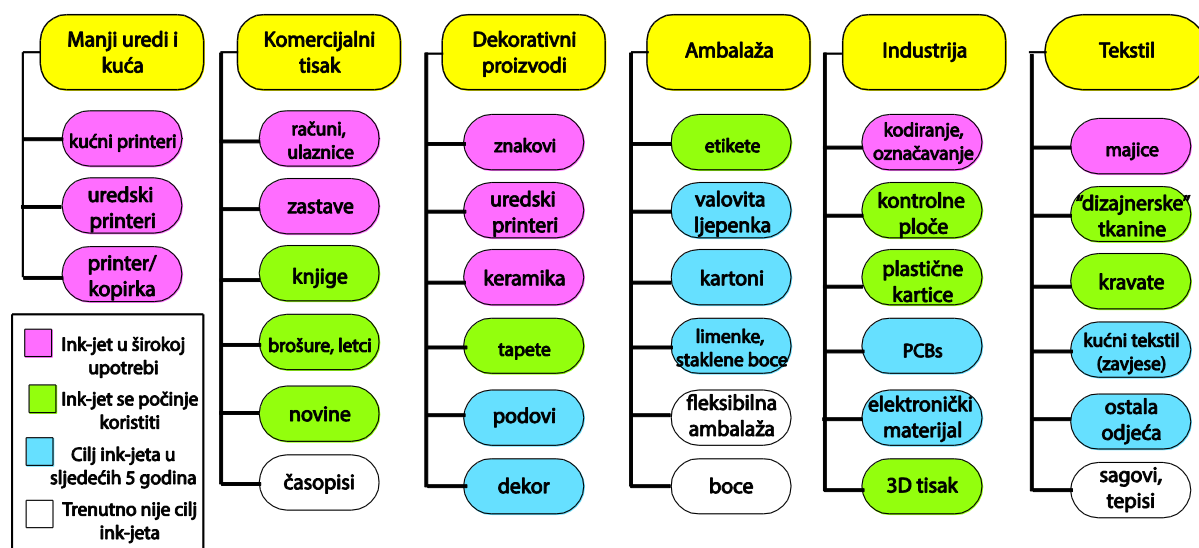
Stylus 900 pisač u boji tehnički broj je snažan konkurent prodavačima termalnog Inkjeta. Iako je bio je predstavljen 1999. godine i nudio je tisak rezolucije 1440 x 720 dpi. Nastale kapljice bile su malog volumena koje su mogle napraviti polutonove od 1.5% do 6% (za linijaturu od 150 linija/inču). Ta sposobnost jednaka je sposobnosti svjetski najboljeg litografskog tiska. Model Stylus 900 imao je 192 mlaznice za crnu i po 96 mlaznica za cijan, magentu i žutu. Takav printer bio je cijenom u potpunosti konkurentan pisačima termalnog Inkjeta.

Krajem devedesetih proizvodi otisnuti termalnim Inkjetom dominirali su tržištem. Kontinuirani i piezoelektrični Inkjet korišteni su u slučajevima gdje je bilo potrebno primijeniti boju koja nije na bazi vode. Međutim, Epsonove prednosti u proizvodnji piezoelektričnog elementa su mu omogućile da postane konkurentan u uredskom ispisivanju u koloru visoke rezolucije. Samim time mnogi prodavači koji su bili važni dobavljači matričnih printera u devedesetima su mogli samo gledati kako njihovo tržište nestaje. [1]

2.2. Budućnost Inkjet tehnologije otiskivanja

Budućnost Inkjet tehnike u njenom tradicionalnom otiskivanju je obećavajuća, pošto je tržište grafičke industrije veliko. U principu, Inkjet može zamijeniti razne konvencionalne metode otiskivanja u velikom broju komercijalnih primjena. Bez obzira na potencijalnu široku upotrebu, prihvaćenost Inkjeta do sada je bila koncentrirana na samo nekoliko aplikacija. Postoji nekoliko Inkjet metoda koje rade drugačijim principima i koriste različite Inkjet boje. Ta raznolikost metoda djelomično pokazuje kako Inkjet tehnika otiskivanja ima neka svoja ograničenja koja se očituju pri izbacivanju i fiksiranju kapljica.

Mnogo različitih tehnologija možemo svrstati pod generički naslov „Inkjet“. Najosnovnije svojstvo je da željena tekućina bude direktno izbačena iz ispisne glave u smjeru tiskovne podloge. Tekućina se, pri udaru o tiskovnu podlogu, suši te formira konačnu sliku. Drugo svojstvo koje dijele svi Inkjet sistemi je sposobnost preciznog kontroliranja toka tekućine. Tako se ostvaruje mala količina boje na točno određenoj lokaciji. Ta kontrola se često postiže regulacijom puštanja samo jedne kapljice ili niza kapljica iz ispisne glave. Pritom je veličina mlaznice proporcionalna s veličinom kapljice. [2] Na slici 1. prikazana je osnovna klasifikacija današnjih tehnika tiska. Shema predstavlja veoma pojednostavljenu listu i mnoge od tehnika mogu se dalje raščlaniti na svoje podvrste.

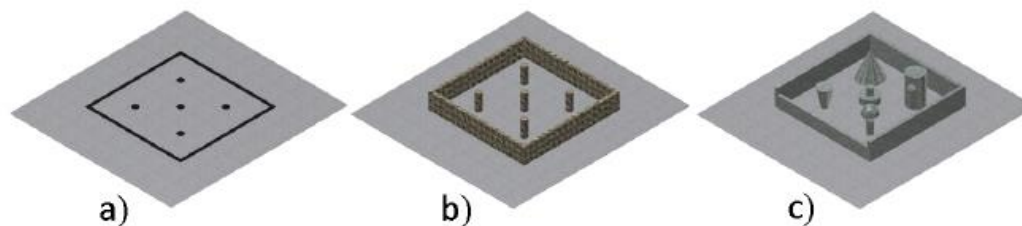


Slika 1. Procjena uporabe Inkjet tiska prema proizvodima

Gotovo sve od navedenih aplikacija su namijenjene proizvodnji kolornih slika. Jedina iznimka su: proizvodnja tiskanih pločica (PCB = *printed circuit board*), uklanjanje funkcionalnih elektroničkih materijala (obično se koristi sitotisak) koje se koristi za stvaranje otpornika, kondenzatora i provodljivih elemenata kao što su baterije.

Na prihvaćanje Inkjet tehnologije u nova područja primjene utječu mnogi čimbenici. Trendovi koji potiču povećanu uporabu digitalnog tiska su: ciljano oglašavanje, tisak promotivnih materijala, personalizirani tisak dekorativnih proizvoda, smanjenje količina škarta te racionalnija nabava materijala i skladištenje proizvoda.

Iako je Inkjet izvorno prihvaćen kao digitalni tiskarski proces, također ima osnove za primjenu u općenitim proizvodnim procesima gdje se tekućina točno definiranog volumena distribuira na točno definiranu površinu. U grafičkoj proizvodnji, tekućina je boja i nanaša se na dvodimenzionalnu tiskovnu podlogu. Međutim, pokazano je da se Inkjet tehnologije mogu koristiti i za oblikovanje trodimenzionalnih objekata. U kontekstu proizvodnje, korisno je klasificirati procese tiska u tri tipa: 2 D, 2 ½ D i 3 D otiskivanje (slika 2). [2]



Slika 2. Prikaz a) 2D tiska, b) 2 ½ D tiska, c) 3D tiska

(Izvor: <https://www.repository.cam.ac.uk/xmlui/bitstream/handle/1810/244791/Castrejon-circulation.pdf?sequence>)

Kod dvodimenzionalnog tiska, visina nanijetog materijala je irelevantna s obzirom na širinu otisnutog uzorka. Kod 2 ½ otiskivanja različitosti u visini su bitno naglašene u odnosu na 2D otisak. Najveći kontrast ostvaren je kod 3D procesa otiskivanja gdje se formira točno definirani nanos. Kako bi Inkjet smatrali konstrukcijskim proizvodnim procesom, potrebno je proširiti definiciju boje tako da ona uključuje bilo koju tekućinu

koja se može pretvoriti u krutu tvar. Kada se to koristi za stvaranje 3D printerskih modela niskih performansi to se još naziva stvaranje brzih prototipa. Ta metoda se već koristi nekoliko desetljeća i rutinski primjenjuje kod dizajna, modeliranja i vizualizacije projektnog procesa. Logični nastavak proizvodnje otiskivanjem u slojevima implicira korištenje novih printera čije su značajke prikladne za funkciju nastanka konačnih proizvoda.

Otiskivanje u slojevima naziva se i „*desktop* proizvodnja“ (izraz nastao kao analogija stolnom otiskivanju). Izraz vjerojatno nije prikladan za metode temeljene na Inkjetu jer boja potrebna za formiranje funkcionalnih materijala je nekompatibilna za *desktop* upotrebu. Međutim, proizvodi nastali otiskivanjem u slojevima su slični onima u digitalnom tisku. Pritom nema potrebe za izradom kalupa, naklade su male i ekonomične te se boje mogu brzo mijenjati. Ispisna jedinica može biti malih dimenzija relativno niske početne cijene pri čemu se primjenjuje tisak s aditivima i subtraktivnim osnovnim bojama (osigurana manja potrošnja materijala, a time i održiviji proizvodni proces). Zbog toga, postoje snažni ekonomski poticaji za razvoj proizvodnje proizvoda otisnutih aditivnim bojama.

Generički gledano, proces proizvodnje otiskivanjem u slojevima sastoji se od stvaranja više slojeva. Oni mogu biti načinjeni od jednog ili dva različita materijala pri čemu će jedan materijal dati finalnu funkcionalnu vrijednost dok će drugi biti jednokratno punilo ili vezivni materijal koji osigurava masu.

Najambiciozniji oblik proizvodnje otiskivanjem u slojevima je za potrebe regenerativne medicine gdje se koriste biološki materijali za izradu zamjenskih organa. U ovom slučaju, punila su vosak ili porozni materijali, slični aktivnim stanicama, a dorada se sastoji od multipliciranja stanica do oblika organa. Ostale biološke primjene uključuju direktno otiskivanje nosivog tkiva kako bi se reproducirala struktura kostiju.

Nekonvencionalna primjena Inkjeta je proizvodnja čipova. Kako je to vrući postupak Inkjet se koristi za nanašanje aerosola za hlađenje. Zbog svoje veličine mlaznice konvencionalni sprejevi nisu prikladni za korištenje u izradi modernih mikroprocesora. Inkjet tehnologija stoga predstavlja rješenje nanašanjem tekućih kapljica digitalnom kontrolom na ekstremno vruća područja. Taj proces obećava barem 10 puta bolju tehnologiju hlađenja od konvencionalnih aerosol sredstava. [2]

2.3. Ograničenja u radu Inkjeta

Čak i u grafičkom otiskivanju Inkjet ima snažnu konkurenciju. To su već etablirane tehnologije kao što su: sitotisak, fleksotisak tisak i litografski ofset. Trenutne mogućnosti industrijskog Inkjet procesa zahtijevaju poboljšanja kako bi se zadovoljile potrebe koje zahtijeva suvremena grafička proizvodnja. Neke od zapreka su: djelovanje boje, problem rukovanja tiskovnom podlogom, brzina tiska, cijena otiska i pouzdanost sistema.

2.3.1. Djelovanje Inkjet boje

Konvencionalne tehnike tiska su se razvile kroz mnogo godina i sada imaju dobar odnos cijene i učinkovitosti. Do sada su zadovoljile sve zahtjeve i osigurale potrebe kao što su: ne štetnost na ljudsko zdravlje, sigurnost rukovanja, dugi životni vijek, slab miris i visoku kvalitetu reprodukcije. Da bi se to postiglo nisu se samo razvile boje, već su se i cijeli proces te oprema uskladili s njihovim pojedinačnim zahtjevima. Pošto se cijeli lanac proizvodnje specijalizirao, Inkjetu je teško ući na to tržište. Fleksibilna ambalaža dobar je primjer industrije koja bi mogla prihvatiti Inkjet zbog ekonomičnog rješenja tiska (u nakladi 1 do 5000 B1 formata). Međutim, do sada ne postoji pouzdani Inkjet sistem za to. Tehnika koja se još uvijek koristi je fleksotisak (omogućava visku brzinu, niske troškove tiska). Međutim, fleksografski tisak ima i neke nedostatke koji se očituju u dugim promjenama tiskovne forme i visokim troškovima izrade tiskovnih formi.

Glavna smetnja u implementaciji Inkjeta je zahtjev za specijalnom bojom koja nema miris i ima nisku migraciju monomera i ostalih tekućih komponenti. Također mora posjedovati zadovoljavajuću otpornost na grebanje (za transportnu ambalažu), sposobnost za plastifikacijom, izrezivanjem te konstantnošću intenziteta tona boja tijekom stajanja na policama supermarketa. Da se izradi boja za fleksotisak bila su potrebna desetljeća. Samim time postizanje ovih karakteristika još uvijek je problem za Inkjet boje.

Za Inkjet tisak, brzina tiskovne podloge još uvijek je ograničena. Iako već postoje sistemi gdje je gustoća obojenja punog tona veća nego što je to kod tradicionalnih tehnika tiska. Kada bi Inkjet tehnika mogla postići veću količinu pigmenta sa manjom tekućom bazom (bolju disperziju s jednako tankim nanosom) moglo bi se konkurirati konvencionalnim tehnikama tiska. Potencijalna primjena mogla bi biti omogućiti distribucijski tisak. Dobar

primjer je lokalna knjižara gdje se smanjuje trošak transporta i skladištenja uz dostupnost svih naslova u svakom trenutku.

Kod Inkjet sistema kapanja na zahtjev, boja ostaje u mlaznicama još neko vrijeme (ovisno o motivu koji se ispisuje). Izbacivanje kapljice može biti problematično ako se boja zasuši u mlaznicama. Tako sila potrebna za formiranje sljedeće kapljice neće biti dovoljno jaka da izbací zasušenu boju. Princip kapanja na zahtjev, stoga, koristi boje koje se relativno sporo suše u odnosu na kontinuirani Inkjet. Međutim, kapljice boje su mnogo manje te je vrijeme sušenja i dalje odgovarajuće.

Maksimalnu viskoznost boje koje se može koristiti u Inkjetu ograničava količina krute tvari koju boja sadrži. Ona je u usporedbi s ofsetom i sitotiskom mala. Zbog toga, Inkjet bojama nedostaje pokrivenost i sjaj. Za Inkjet tisak, pigment je odlučujući za konačnu funkcionalnosti. Što je veći udio pigmenta, time je konačni Inkjet otisak bolji. Obično, Inkjet boje sadrže manje od 10% pigmenta, dok ofset sadrže i više od 25%. Kada bih Inkjet tisak mogao dostaviti više pigmenta, tada bi pokrivenost površine bila bolja. Kako bi se papir potpuno pokrio s 10% pigmenta potrebna debljina Inkjet boje je od 6 mikrometara, dok ofset formira nanos debljine samo 2 mikrometar. Samim time, ako bih Inkjet uspio imati veći postotak pigmenta, imao bih tri puta veću produktivnost i mogao bi konkurirati ofsetu. Međutim, kod povećanja udjela pigmenta treba imati na umu da se kapljica treba dodatno raspršiti pri udaru na tiskovnu podlogu i napraviti konačni otisnuti sloj. To se ne događa te se zbog toga treba još raditi na tom procesu. Razvoj prikladne boje je jedan od najvećih izaziva s kojima je Inkjet suočen. Posebice ako želi proširiti raspon komercijalne primjene. Mehanizam prijenosa boje na tiskovnu podlogu postavlja ograničenja te se tek u posljednje vrijeme analizira reologija i mehanizam djelovanja Inkjet boje (moguća primjena i funkcionalnosti). Za razvoj i proizvodnju boja tradicionalno su korištene empirijske metode te su se često događale situacije u kojima je trivijalna promjena formulacije boje utjecala na tisak. Najbolje je to vidljivo u padu kvalitete, ali i u nastajanju začepjenja mlaznica ispisnih glava. Inkjet mlaznice funkcioniraju po sistemima koje nije moguće mjeriti konvencionalnim metodama. Posebice brzina smicanja u mlaznici koja je reda veličine 10^6 s^{-1} . Osim toga, vrijeme potrebno da kapljica napusti mlaznicu je usporedivo s vremenom opuštanja dugog lanca polimera. Tako elastičan efekt može uzrokovati dramatične promjene da se kapljica formira ili ne formira. Polimeri su obično uključeni u formulaciju boje kako bi stabilizirali

disperziju pigmentnih čestica i kontrolirali ponašanje kapljice na tiskovnoj podlozi. U nekim slučajevima, polimeri su sami funkcionalni dio tekućine (u UV sušivim bojama) ili su tekućine dizajnirane za direktno uklanjanje konačnog materijala (pri otiskivanju u slojevima).

Trenutno, najvažniji zahtjev koje Inkjet boja mora ispunjavati je točno definirani nanos boje. Međutim, u budućnosti, ponašanje kapljice na tiskovnoj podlozi postat će sve važnije. U tisku, oblik otisnutog rastera je važan za kvalitetu. Širenjem broja mogućih tiskovnih podloga postavljat će se novi zahtjevi nanašanje i širenja kapljice na tiskovnoj podlozi. [2]

2.3.2. Rukovanje tiskovnim podlogama za Inkjet

Konvencionalne metode tiska često koriste valjke koji vrše nanašanje boje na tiskovnu formu. U nekim slučajevima to je nedostatak što ide u prilog korištenju beskontaktnih tehnika tiska kao što je Inkjet. Također, podloge koje se koriste u električnoj industriji jako su osjetljive i mogu biti kontaminirane u kontaktu s tiskovnom formom (rukovanje podlogom je teže). Tipični primjer je valovita ljepenka koja se koristi za pakiranja gdje je potrebna visoka kvaliteta tiska. Najčešća tehnika tiska za ljepenuku je fleksotisak. Pritom se ljepenka uzima sa kupa i kroz cijeli proces tiska vode ju transportni valjci. Glavni problemi nastaju uslijed pritiska valjaka gdje se registracija između boja može lakše zadržati. Kod Inkjeta pritisni valjak koristi se sve do tiskovne jedinice, nakon koje se otisak može dodirivati samo sa strane (ona koja nije otisnuta). Dodatno ovoj komplikaciji, može pridonijeti valovita ljepenka koja veoma brzo reagira na promjenu vlage pri čemu se često oštećuju rubovi. Pri takvom transportu veoma je teško održati visokotlačnu udaljenost od 1 mm koja je potrebna za kvalitetan Inkjet otisak. Zbog toga su potrebna česta poravnanja tiskovne podloge. Također, kod valovite ljepenke i vlaknatih tiskovnih podloga problem je što pri rukovanju može doći do otiranja vlaknaca što može uzrokovati probleme sa radom mlaznica (oštećenje Inkjet glave). [2]

2.3.3. Brzina Inkjet tiska

Inkjet ima brojne prednosti u usporedbi s konvencionalnim tehnikama tiska. Većinom se to odražava u digitalnoj kontroli i raznolikosti rasterskih elemenata. Međutim, način nanašanja boje brže je nego kod konvencionalnih tehnika i postoji stalna tendencija da se to popravi. Inkjet zamjenjuje sitotisak u većini slučajeva i postiže brzine koje su međusobno usporedive. Međutim, u drugim područjima tiska, Inkjet malo zaostaje u brzini.

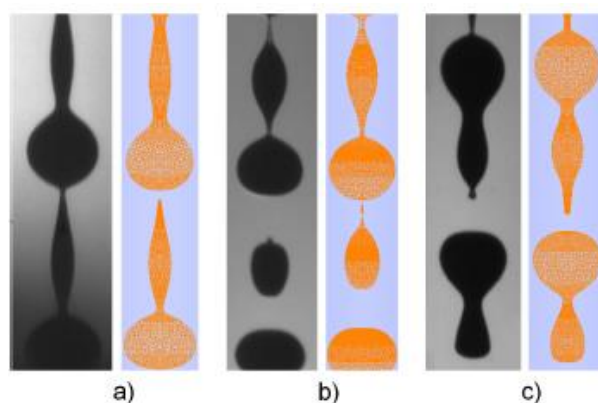
Kvaliteta otiska koja se postiže Inkjetom dovoljno je dobra za većinu grafičkih proizvoda. Međutim, ta kvaliteta je trenutno postignuta na štetu produktivnosti. Pritom je potrebno da Inkjet stvara kapljice manjih veličina, a da pritom zadrži stopu otisnutog volumena. U mnogim drugim primjenama, Inkjet još uvijek nije usporediv s većinom fleksotiskarskih i litografskih strojeva što predstavlja izazov i za proizvođače glava i za proizvođače Inkjet boje. [2]

2.3.4. Pouzdanost Inkjet tehnike tiska

Svi oblici Inkjet tehnika tiska osjetljivi su na formulaciju dodatnih neželjenih kapljica koje se pojavljuju pored glavnih (željenih) kapljica na otisku. Te male kapljice nazivaju se satelitskim kapljicama i njihova pojava smanjuje pouzdanost Inkjet tiska.

Inkjet tisak na zahtjev ima tendenciju stvaranja satelitskih kapljica mnogo više od kontinuiranog tiska te je njihovo stvaranje teže izbjeći. Satelitske kapljice nemaju dovoljnu energiju da bi završile na tiskovnoj podlozi i često su privučene najbližoj okolnoj površini, kao što je mlaznica. Tako dolazi do kontaminacije mlaznica i grešaka u formiranju glavnih kapljica.

Modeliranjem ponašanja Inkjet boja da se ponašaju kao Newtonove tekućine u kontinuiranom Inkjetu dat će mogućnost otiskivanja bez formiranja satelitskih kapljica. Tako je moguće je postići sisteme bez i sa satelitskim kapljicama kako je prikazano na slici 3.



Slika 3. Promjene u stvaranju satelitskih kapljica mijenjanjem uvjeta tiska (samo u c slučaju otisak neće imati formirane satelitske kapljice), (Izvor: <https://www.repository.cam.ac.uk/xmlui/bitstream/handle/1810/244791/Castrejon-circulation.pdf?sequence>)

Satelitske kapljice se mogu izbjeći korištenjem primjenom ispravne brzine mlaza, boje frekvencije kapanja, viskoznosti boje i amplitude kretanja piezoelektričnog elementa. Kontinuirani Inkjet sistemi zato imaju stalnu kontrolu operativnih parametara i sastava nanosa boje kako bi sustav ostao pouzdan.

Na pouzdanost također utječe status Inkjet stroja. Prvi puta kada se stroj upali mogu se javiti problemi (zbog moguće količine sasušene boje na mlaznicama). Zbog toga se savjetuju česte faze čišćenja mlaznica čime će se omogućiti da stroj radi pouzdano i točno. [2]

2.3.5. Odnos kvalitete i cijene Inkjet otiska

Velike naklade proizvoda kao što su časopisi i fleksibilna ambalaža imaju izvrstan nivo kvalitete i nisku cijenu proizvodnje. Tako se ofset se usavršavao desetljećima i kada je riječ o kvaliteti i pouzdanosti fleksotisak mu se lagano približava. Ove dvije tehnologije i Inkjet se natječu na svjetskom tržištu gdje i najmanja prednost može biti ključna u odlučivanju koja je metoda bolja za primjenu. Komparacija u pogledu brzine i troškova prikazana je u tablicama 1. i 2.

Tablica 1. Usporedba brzina konvencionalnih tehnika tiska i Inkjet tehnika

Tehnologija	brzina tiska	kvaliteta tiska	vrijeme promjene ploče	Uhodavanje stroja
Inkjet tisak na zahtjev	1-3 m/s	√√√	0	0
kontinuirani Inkjet	5 m/s	√√	0	0
Ofsetni litografski tisak	5 m/s	√√√√√	20 min	200 araka
fleksotisak	5 m/s	√√√	40 min	500 araka
bakrotisak	8 m/s	√√√√√	60 min	1000 araka

Tablica 2. Usporedba cijena, prednosti i nedostataka konvencionalnih tehnika tiska i Inkjet tehnika

Tehnologija	cijena boje	cijena TF	prednosti	nedostatci
Inkjet tisak na zahtjev	40 USD/kg	0	promjenjivi podaci	sporost
kontinuirani Inkjet	25 USD/kg	0	promjenjivi podaci	ograničavajuće vrste boje
Litografija	10 USD/kg	100 USD	zrela tehnologija	najpogodnije za premazane papire
Ofsetni litografski tisak	5 USD/kg	1,000 USD	moгуćnost korištenja raznih podloga	velika potrošnje boje
Bakrotisak	5 USD/kg	10,000 USD	velike naklade	dugo postavljanje

U usporedbi s Inkjetom, promjena motiva u konvencionalnim tehnikama tiska je spora i skupa. Pošto se iste tiskovne forme u fleksotisku često ponavljaju, cijena tiskovne forme nije tako velika. Trend manjih naklada zbog toga ide u korist fleksotisku. Kao odgovor na prijetnje iz digitalnog tiska, svi proizvođači flekso strojeva rade na smanjenju vremena

rada i smanjivanju količine utrošene tiskovne podloge potrebne za uhodavanje naklade (makulature).

Inkjet može ponuditi cjenovno konkurentnu alternativu ostalim metodama tiska. Međutim, i dalje ne može postići kvalitetu koju kupci očekuju. Za to postoje tri glavna razloga:

- a) Smjer kretanja Inkjet glave vidljiv je na otisku (linija u smjeru tiska). Uzrok tome mogu biti varijacije u ravnini mlaznica, veličina i brzina proizvodnih kapljica ili greška u registru (zbog pomaka tiskovne podloge u odnosu na devijacije mlaznice).
- b) Inkjet boja ima ograničenja u formulaciji koja ne postoje kod konvencionalnih bojila. Njihova niska viskoznost ograničava veličinu i koncentraciju čestica pigmenta koji može biti u disperziji. To također limitira tip baznih tekućina koje se mogu koristiti u Inkjet boji. Pigmenti se drže u disperziji kako bi se spriječilo spajanje s polarnim premazima. Osim toga, veće čestice pigmenata imaju tendenciju stvaranja aglomerata kod tekućina niske viskoznosti. Kod direktnog tiska to nije problem zato što čestice nisu mobilne, kod Inkjeta u boji to stvara probleme. S druge strane, čestice pigmenta su jako fino samljevene kako bi se povećala viskoznost. Gusti pigmenti posebno stvaraju probleme. Posebno je to izraženo kod bijele Inkjet boje koja sadrži oko 20% titan dioksida (TiO_2). Boje u sitotisku sadrže oko 60% većih čestica i stoga daju veću neprozirnost. Veći udio titan dioksida u Inkjetu je nemoguće stabilizirati zato što se čestice imaju tendenciju sedimentacije (kod boje niske viskoznosti). Stabilnost špricanja zahtjeva strogi sastav kontrole za reologiju Inkjet boje, dok kod konvencionalnih tehnika tiska to nije potrebno.
- c) Satelitske kapljice uzrokuju probleme na samom otisku. One se odvajaju od glavne kapljice i mogu završiti na mlaznici ili na drugim dijelovima tiskovne podloge. Ti mali kapljasti sateliti se lagano raspršuju nabojima i aerodinamičnim učincima što utječe na buduću pouzdanost mlaznice. Nošeni su zračnim strujama i mogu imati pozicijske promjene što je posebno vidljivo na slobodnim površinama. [2]

2.4. Inkjet ispisne glave

2.4.1. MEMS tehnologija Inkjet ispisnih glava

MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) je kratica za mikro-elektro mehanički sistem. Termin je nastao 1987. godine i predstavlja kombinaciju mehaničkih i električnih komponenti u mikro veličinama (1-100 mikrometara) ugrađenih u jednu istu komponentu. Elektromehanički mikro sistem za Inkjet tisak tako posjeduje komponente veličine od 20 do 1000 mikrometara. U Japanu za MEMS se koristi izraz „mikro-uređaji“, a u Europi „mikro sistem tehnologija“ (*Micro Systems Technology* - MST). Kombinacija nano materijala s nanometričkim dimenzijama struktura dovela je do povezivanja s izrazom NEMS (*Nano Electro Mechanical System*). Obično, MEMS komponenta se sastoji od senzora ili aktivatora, električnog sučelja za mikroprocesor, samog mikroprocesora i sučelja za vanjsku konekciju.

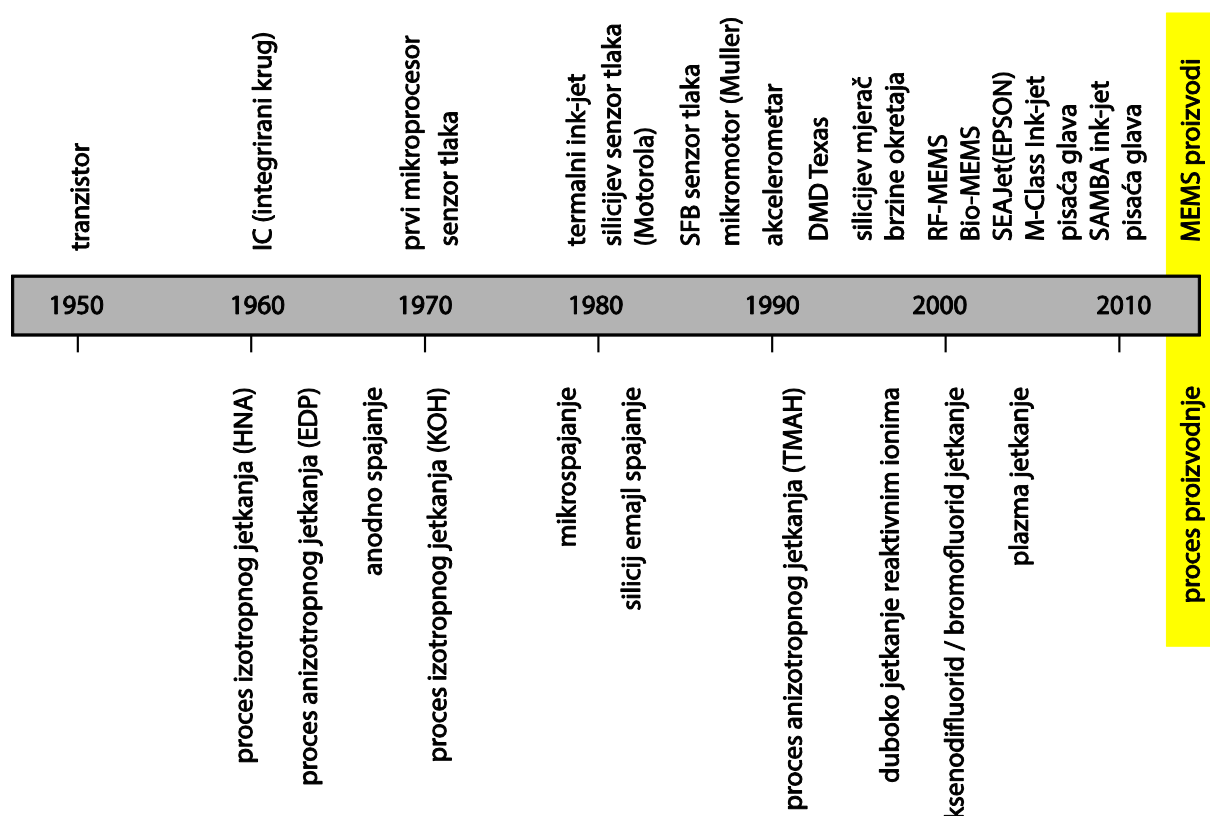
Za ovako sitne komponente, klasični zakoni fizike ne mogu se uvijek primijeniti. Njihova velika površina, u odnosu na volumen, dovela je do novih efekata: elektrostatike, kapilarnosti. Oni sada dominiraju u odnosu na Inkjet sistem baziran na oslobađanju topline i mehaničkim efektima. MEMS je teško definirati preciznije jer osim minijaturizacije može objedinjavati procese skupne obrade podataka. U tom slučaju, može se prikazati primjer brzinomjera. Stari brzinomjeri bili su makroskopski i sastojali su se od mnogih dijelova koji su se zamijenili minijaturiziranim silicijskim senzorima. Najveći napredak nije postignut smanjivanjem, nego simultanom proizvodnjom tisuće individualnih dijelova na silicijskoj podlozi u procesu multipliciranja.

Kao dodatak nižim troškovima proizvodnje, minijaturizaciji i većoj pouzdanosti, MEMS tehnologija učinila je brojna tehnička rješenja koja do tada nisu postojala. Na primjer, mogućnost promjene smjera kretanja trake na video rekorderima s ugradnjom milijuna identičnih, minijaturnih zrcala.

Dobra primjena u svakodnevnom životu su MEMS senzori za ubrzanje koji kompenziraju neželjene pokrete digitalne kamere (mogu uzrokovati zamućenje na fotografijama). Jedna od najstarijih primjena MEMS tehnologije je senzor tlaka koji zahvaljujući minijaturizaciji može biti postavljen u bilo koji sportski sat. [5]

2.4.1.1. Povijest i upotreba MEMS tehnologije

Povijest MEMS tehnologije započela je 1947. godine izumom tranzistora. Svoj veliki napredak postiže 1960. godine osnivanjem poluvodičke industrije. [6] Slika 4 prikazuje razvoj MEMS proizvoda i proizvodnih metoda razvijenih u zadnjih 60 godina prošlog stoljeća.



Slika 4. Razvoj MEMS proizvoda i njegova integracija u konačne proizvode

Integrirani elektronički sklopovi sastoje se od mnoštva mehaničkih struktura nanosenih na kristalnom poluvodiču koji u kontaktu jedni s drugim čine diode i tranzistore. Te strukture bile su napravljene pomoću litografskog procesa koji formira slojeve. Tijekom vremena postupci obrade bili su zamijenjeni s tehnikama ljuštenja mikro-slojeva, tehnikama galvanizacije, tehnikama mikro umrežavanja, metodama premazivanja i pretvorbom naparivanja. Najčešće korišteni materijali su: silicij, silicijev oksid, silicijev nitrat, staklo, razni metali, ITO (indij kositar oksid), SU8 (fotoosjetljiva epoksi smola) i poliamid. [7]

Korištenje MEMS tehnologije u stalnom je porastu. MEMS tehnologija se koristi za sve tri vrste Inkjet tehnike tiska: kontinuirani, termalni i piezoelektrični. Glavni proizvođači Inkjet printera koji koriste MEMS tehnologiju su: Brother, Canon, Epson, FujiFilm Dimatrix, Kodak, Kyocera, Lexmark, Panasonic, Ricoh i Silverbook. U slučaju Inkjet ispisnih glava, MEMS tehnologija dugo se koristi kako bih smanjila troškove i povećala pouzdanost.

Kodak za svoje kontinuirane Inkjet printere, Versa-mark (koriste boju na bazi vode) koristi MEMS mlaznice kako bi kontrolirao smjer kretanja kapljice. [8]

Danas HP i Canon na svojim termalnim Inkjet printerima za kuću i uredsku uporabu također koriste MEMS tehnologiju u ispisnim glavama. Proizvode ih u seriji od 50 do 500 milijuna godišnje. U svom oglašavanju proizvođači gotovo nikada ne spominju MEMS tehnologiju zato jer su konačni kupci više zainteresirani za cijenu, nego za korištenu tehnologiju. Ove ispisne glave su proizvedene u potpuno automatiziranim tvornicama bez ikakvog kontakta osoblja (sterilna atmosfera).

Piezoelektrične Inkjet glave koje rade Ditamatix, Epson, HP, Xaar i Kyocera koriste se uglavnom za industrijsku i grafičku primjenu. Epson također proizvodi piezoelektrične ispisne glave za kućnu i uredsku upotrebu. Međutim, godišnje se proizvede puno manje piezoelektričnih ispisnih glava za industrijsku upotrebu u odnosu na kućnu i uredsku upotrebu. To je vjerojatno i razlog slabog uspjeha MEMS tehnologije za strojeve u grafičkoj i industrijskoj upotrebi.

Prednost tehnologije poluvodiča za Inkjet pisaće glave leži u superiornoj mehaničkoj preciznosti i dosljednoj sposobnosti za povećanjem kvalitete slike. Pogotovo je to važno u proizvodnji električnih komponenti s Inkjetom.

Velik je broj faza procesa koje zahtjeva poluvodička i MEMS tehnologija. Odnosno, proizvodnja malog broja strojnih dijelova glavni su razlog zašto proces matematičkog računanja spor i skroman. Na takozvanim hibridnim ispisnim glavama, (Dimatrix Q-Class) bilo je moguće iskoristiti visoku mehaničku preciznost, nižu termalnu dilataciju i veću gustoću registracije MEMS tehnologije. Tvrtka Durst je promatrala tehnički razvoj Inkjet ispisnih glava i uspješno implementirala prednosti ove tehnologije potrošačima, korištenjem hibridnih Inkjet ispisnih glava. [9]

2.4.1.2. Proizvođači Inkjet ispisnih glava

Oko deset svjetskih tvrtki investira u opremu potrebnu za proizvodnju Inkjet ispisnih glava. Da bi se izradile ispisne Inkjet glave potrebne su veoma visoke investicije te veliki raspon tehničkih znanja da bi se uspjelo smanjiti trošak proizvodnje mikroelektroničke opreme. Razvoj ispisnih Inkjet glava može zahtijevati timove s više od 25 znanstvenika i inženjera kako bih se pokrila sva potrebna znanja. Pritom prođe period od tri do četiri godine kako bi se Inkjet koncept doveo od ideje do prototipa. Kako bih se ista tehnička ideja dalje unaprijedila (do serijske proizvodnje), tim treba udvostručiti ili utrostručiti za što je potrebno dodatne tri do četiri godine. Organizacije koje danas komercijalno proizvode Inkjet glave su za izradu i predstavljanje svojih prvih ispisnih glava su potrošili na desetke milijuna dolara.

Korištenje Inkjet strojeva rapidno je poraslo u gotovo svakoj primjeni. Pritom oni mogu poslužiti i kao modularna prijenosna arhitektura. Komercijalni uspjeh modularno složenih ispisnih glava rezultirao je instalacijom milijuna pisaćih glava godišnje. Pritom je tvrtka Epson najvažniji proizvođač visokog volumena Inkjet glava za nekoliko piezoelektroničkih konfiguracija.

Canon, HP, Lexmark, Xerox i Olivetti proizvode različite termalne Inkjet ispisne glave. Ovih šest proizvođača imaju različitu politiku oko prodaje svojih ispisnih glava. Svi preferiraju proizvesti cijeli Inkjet pisac te minimalno prodavati postojeće Inkjet ispisne glave. Inkjet printer obično sadrži različite razine integracije mehaničkog hardvera koji uključuju: zonu ispisa, x-y skener, nosač ispisne glave, ispisnu glavu, sistem za dotok boje i podsistem za održavanje ispisne glave. Zbog intelektualnog vlasništva u taj sklop može biti integriran i mehanizam za kontrolu elektroničkih sklopova.

Umjesto da prodaju samo ispisnu glavu, proizvođači strojeva visokog volumena često su pristrani u želji da opremaju cijeli Inkjet pisac. Za to postoji nekoliko razloga. Prvo, postoji financijski benefit u prodaji većeg broja Inkjet sistema (amortizacija je veća i stvaranje profita je veće). Međutim, jednako jaka motivacija je i poznavanje svih kupčevih tehničkih problema. Proizvođači će pretpostaviti da kupac ispisne glave ne može dovoljno dobro razumjeti probleme Inkjeta.

Nekoliko proizvođača piezoelektričnih glava eksplicitno traže kupce. To su: Inkjet Technology, Spectra, XaarJet i Trident. Ovi prodavači su razvili nekoliko standardnih modula mlaznica koji se mogu složiti u razne konfiguracije. Neke od tih konstrukcija ispisnih glava veoma su robusne. Tipični modeli imaju 32, 64 i 128 mlaznica. Međutim, one mogu biti rotirane kako bi povećali gustoću linije (veća rezolucija). Ostali prodavači piezoelektričnih Inkjet proizvoda proizvode svoje vlastite ispisne glave ili imaju točno odabrane dobavljače. To su Dataproducts, Brother, Tektronix, Sharp, Citizen i Matashushita. Neki od ovih prodavača organiziraju prodaju samo ispisnih glava kako bi povećali volumen proizvodnje.

Kontinuirane Inkjet ispisne glave su potencijalno dostupne samo od nekoliko proizvođača. To su Videojet, Domino Amjet, Imahe, IRIS Graphics i Scitek. Oni proizvode Inkjet glave za industrijsko označavanje te kombiniraju razne sisteme za dotok boje, razne ispisne glave i kontrolnu elektroniku. Samim time gotova ispisna glava je njihov jedini proizvod. [1]

2.4.2. Konstrukcija MEMS ispisnih glava

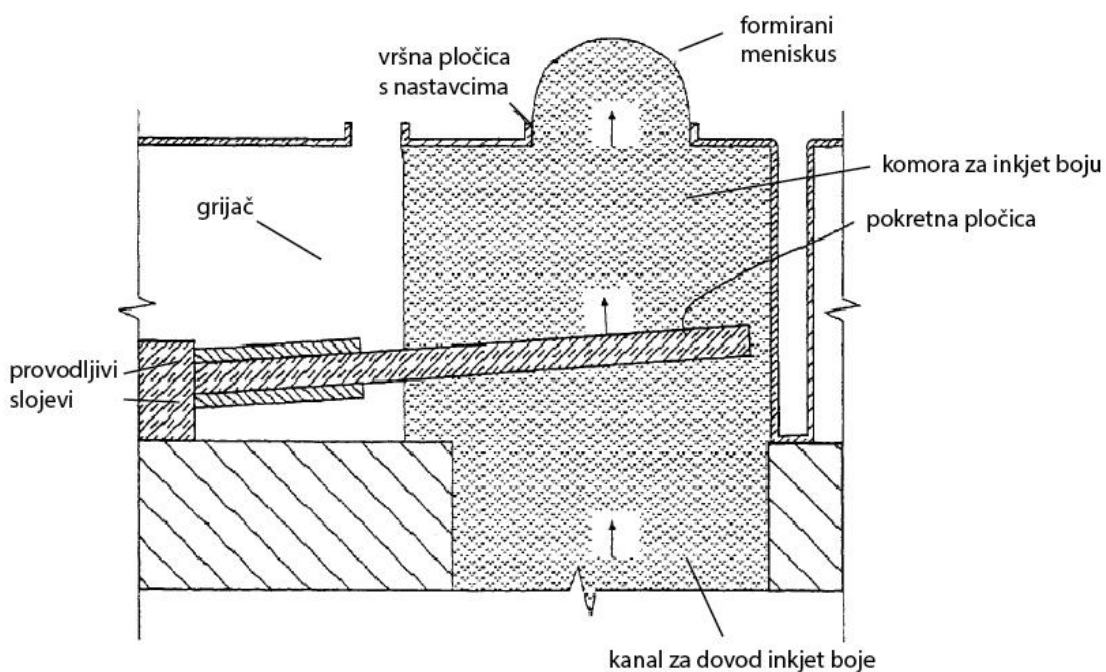
2.4.2.1. Konstrukcija ispisne glave s pločastim sistemom za izbacivanje boje

Inkjet ispisna glava konstruirana s MEMS tehnologijom uključuje mlaznice za izbacivanje kapljica boje gdje svaka mlaznica ima vlastitu komoru za boju. Ispisna glava ima vanjske grijače. Svaki grijač tako ima jedan kraj ugrađen u noseću podlogu, dok je drugi kraj povezan s pločastim sistemom za distribuciju boje unutar komore ispunjene s bojom.

Želja je postići pisaću glavu koja otiskuje rezolucijom od 1600 dpi za što je potrebno više od 50,000 mlaznica. Zato je nužna integracija pogonske elektronike na isti čip ispisne glave kako bih se postigao niski trošak izrade. Uspješna integracija omogućila je da se broj vanjskih veza do ispisne glave smanji s 50,000 na samo 100 veza. Kako bih se postigla uspješna pogonska elektronika, integriraju se CMOS logika (komplementarni metal-oksidni poluvodič) i pogonski elementi na isto kućište kao i MEMS mlaznice. MEMS Inkjet glava tako će imati nekoliko glavnih prednosti: veličine mehaničkih pokretnih elemenata su u mikroskopskim dimenzijama, milijuni mehaničkih aktivatora

mogu se napraviti simultano na istoj silicijskoj podlozi te mogu sadržavati svoju vlastitu elektroniku. Ispisna glava temeljena na pokretnom pločastom sistemu koristi se za distribuciju Inkjet boje. Komora mlaznice također uključuje vršnu pločicu na kojoj se formira meniskus.

Na slici 5. prikazana je jedna mlaznica koja uključuje komoru za Inkjet boju s distribucijskim kanalom za dovod boje (kako bih se formirao meniskus na vršnoj pločici mlaznice). Mehanizam okidanja kapljice uključuje aktivacijsku pločicu. Pločica je jednim dijelom povezana s termalnim grijačem. On se sastoji od dva tanka sloja koji su građeni od provodljivog materijala (imaju visok stupanj čvrstoće). Nezagrijana dva sloja bit će u termalnoj ravnoteži. U momentu zagrijavanja donjeg sloja dolazi do savijanja pločice te aktiviranja pokretačkog mehanizma i kretanja pločice prema gore. To će uzrokovati povećanje pritiska oko vršne pločice te istiskivanje boje iz komore i povećanje meniskusa. Prestankom zagrijavanja, pokretački mehanizam se vraća u početnu poziciju, pločica se spušta te dolazi do stvaranja odnosno izbacivanja kapljice. Kako je površinska napetost na području meniskusa veća od one u komori, boja se nanaša u komoru (puni) iz kanala za dovod boje. [10]



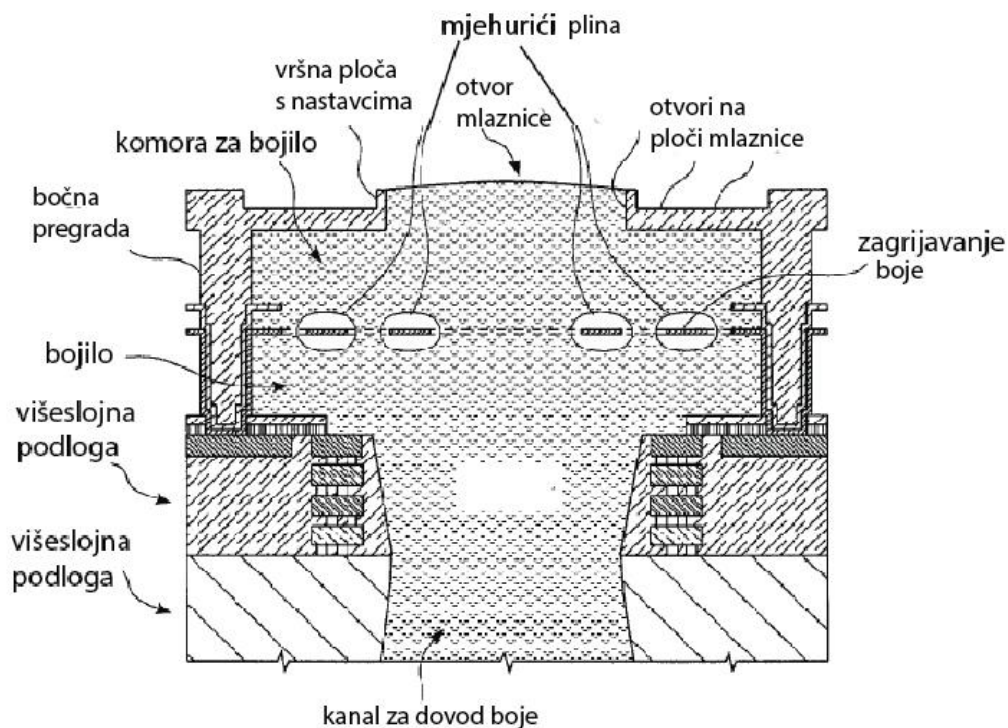
Slika 5. Izgled MEMS mlaznice s pločastim sistemom (Izvor: Kia Silverbook, Inkjet Printheads, US 6,588882 B2)

2.4.2.2. Konstrukcija ispisne glave s mikro grijačem za stvaranje mjehurića

Inkjet ispisna glava koja uključuje MEMS grijač za stvaranje mjehurića imaće aktivacijski element pozicioniran unutar komore ispunjene bojom. Grijač je građen od super-legure i konstruiran tako da dolaskom signala zagrijava tekućinu do temperature kada dio tekućina prelazi u plinovito stanje (stvara mjehurić). Stvaranjem mjehurića povećava se pritisak u komori što uzrokuje izbacivanje kapljice kroz mlaznicu. Vršna ploča s mlaznice pomaže pri usmjeravanju kapljica.

Super-legure mogu osigurati otpornost na visoke temperature, otpornost na koroziju i oksidaciju. Samim time se ostvaruju karakteristike boje kao i kod konvencionalnih tankih slojevitih grijača koji se koriste u standardnim termalnim Inkjet ispisnim glavama.

Na slici 6. prikazani su dijelovi ispisne glave koja je MEMS struktura formirana litografskim procesom nanašanja. Kada se takva ispisna glava koristi, boja iz spremnika ulazi u komoru te se grijaći elementi zagrijavaju u vremenskom periodu od jedne mikro sekunde. [11]



Slika 6. Dijelovi MEMS ispisne glave koja sadrži mikrogrijače (Izvor: Kia Silverbook, R.M.L. Foote, A.J. North, J.M. Fishburn, P.D. Lunsman, A.A. Papadakis, C.S. Lakshmi, F.J. Crous, M.S. Walker, S.G. Mallinson, P.J. Reichl, Mems Bubble Generator, US 7,654,645 B2)

2.4.2.3. MEMS ispisne glave kod piezoelektričnog Inkjeta

Epson je 2003. godine shvatio pravi potencijal piezo Inkjet tehnologije pri čemu je želio napraviti najmanji mogući piezo element uz maksimalnu kontrolu veličine kapljice. Samim time bi se omogućio brzi tisak u visokoj kvaliteti i pouzdanosti. Rezultat je bio vidljiv 2007. godine kada je Epson predstavio tanki piezo elementa (TFP-Epson Thin Film Piezo) i PrecisionCore tehnologiju.

Razvojem piezo kristalnog elementa debljine samo jednog mikrona omogućeno je maksimalno špricanje boje iz najmanje mlaznice čime je postignuto veliko povećanje gustoće mlaznica u ispisnoj glavi. U kombinaciji s precizno izrađenim mlaznicama i kanalima, TFP ispisne glave mogu postići gotovo savršeno okrugle rasterske točkice na tiskovnoj podlozi.

Od 2007. godine TFP postao je vodeća tehnologija za printere velikog formata koji ostvaruju kvalitetan otisak. Tako je osiguran tisak plakata i promidžbenog materijala s mnoštvo detalja i živih boja uz povećanu produktivnost. *PrecisionCore* tehnologija uz pomoć Epsonovog znanja o materijalima i MEMS proizvodnji Inkjet glava povećala je postignuća TFP tehnologije. Produkt ovog revolucionarnog poboljšanja u tehnologiji bio je *PrecisionCore MicroTPF* čip (slika 7). Kod otiskivanja on je udvostručio snagu savijanja piezo elementa u usporedbi s originalnom TPF pisaćom glavom. Uz redizajn toka boje, primijenjene elektronike i drugih komponenti, ostvarena je mogućnost daljnje minimalizacije. Ovi modularni čipovi mogu se kombinirati na razne načine što je omogućilo Epsonu razvitak većeg broja serijskih proizvedenih ispisnih glava.



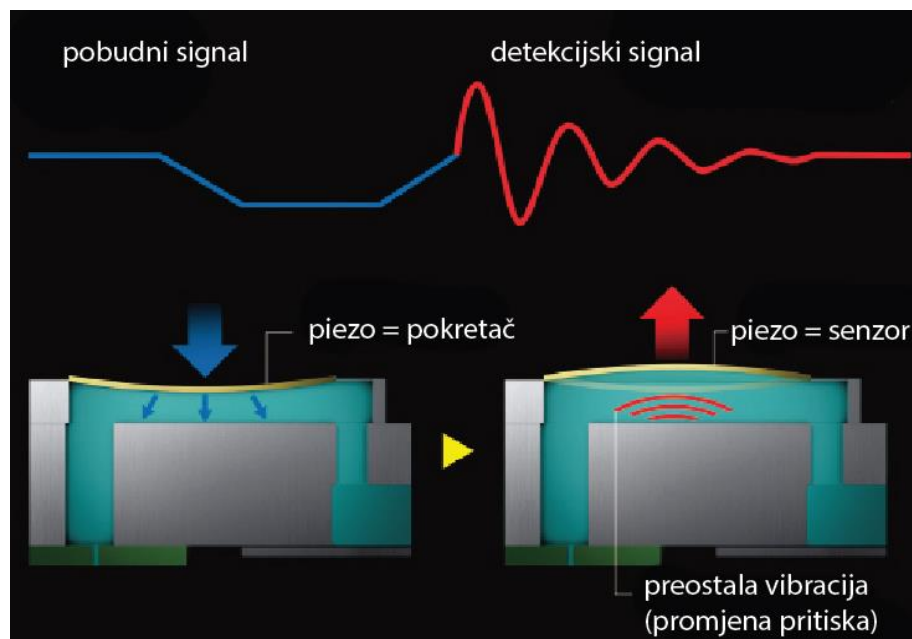
Slika 7. *PrecisionCore TFP* čip i *PrecisionCore MicroTPF* čip (Izvor: https://www.epson.ca/_alfresco/LandingPages/landing/PrecisionCore/PrecisionCore_White_Paper.pdf)

PrecisionCore ispisne glave imaju dva do tri puta veću rezoluciju od Epsonovih konvencionalnih piezo ispisnih glava. U isto vrijeme mogu formirati principom kapanja na zahtjev brze i kvalitetne kapljice različitog volumena. Raspon volumena kapljica koji je moguće postići iznosi od 1,5 pl do 32,5 pl. Specifikacije *PrecisionCore* ispisnih čipova navedene su u tablici 3.

Tablica 3. Specifikacije *PrecisionCore* čipova

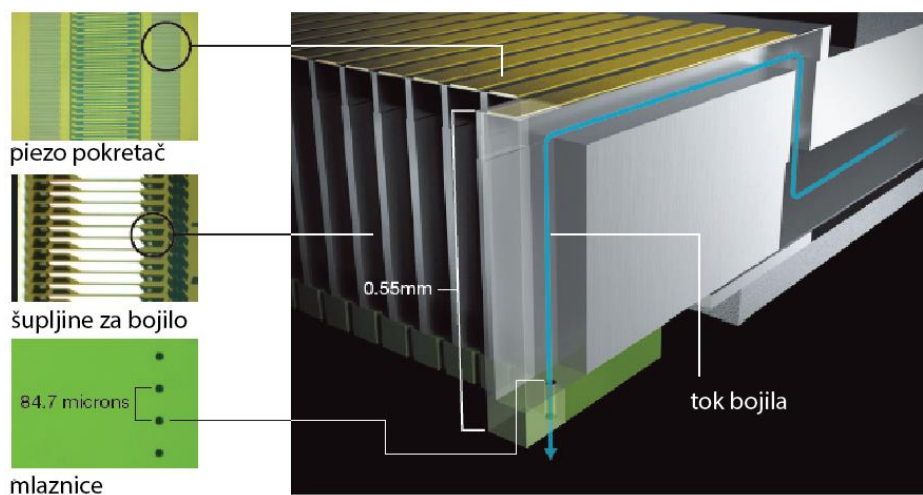
	TFP ispisni čip	MicroTFP ispisni čip
Tehnologija	inkjet tehnologija tankog piezo filma	
Konstrukcija ispisnog čipa	MEMS	
Kompatibilni tipovi boje	boja na bazi vode, otapala, boja na bazi smole, boja koja suši pod UV žaruljom	
Frekvencija	do 50 kHz	
Veličina kapljice	1,5 – 32,5 pl	
Dimenzije	29,7 x 8 mm	38,5 x 6,8 mm
Dužina linije mlaznica	25,4 mm	33,8 mm
Linije po ispisnom čipu	2	2
Mlaznice po ispisnoj liniji	720	800
Mlaznice po čipu	720	600

PrecisionCore predstavlja novi sistem koji koristi snagu samog piezo kristala. Time je osigurano povećanje pouzdanosti, ali same piezo ispisne glave. Kada se dovodi napon na piezo element, on se savija i ponaša se kao aktivacijska pumpa koja izbacuje boju (na slici 8.) Zbog ove karakteristike, *PrecisionCore* piezo elementi mogu biti iznimno moćna pumpa boje ako se uz njih montira i visoko osjetljivi senzor. Piezo element sa senzorom može detektirati u milisekundama ispravnost izbacivanja kapljice. Drugim riječima, ima sposobnost trenutne samo-dijagnoze koja će dovesti do pravilnog izbacivanja kapljice boje.



Slika 8. Prikaz kretanja MEMS mlaznica (Izvor: https://www.epson.ca/_alfresco/LandingPages/landing/PrecisionCore/PrecisionCore_White_Paper.pdf)

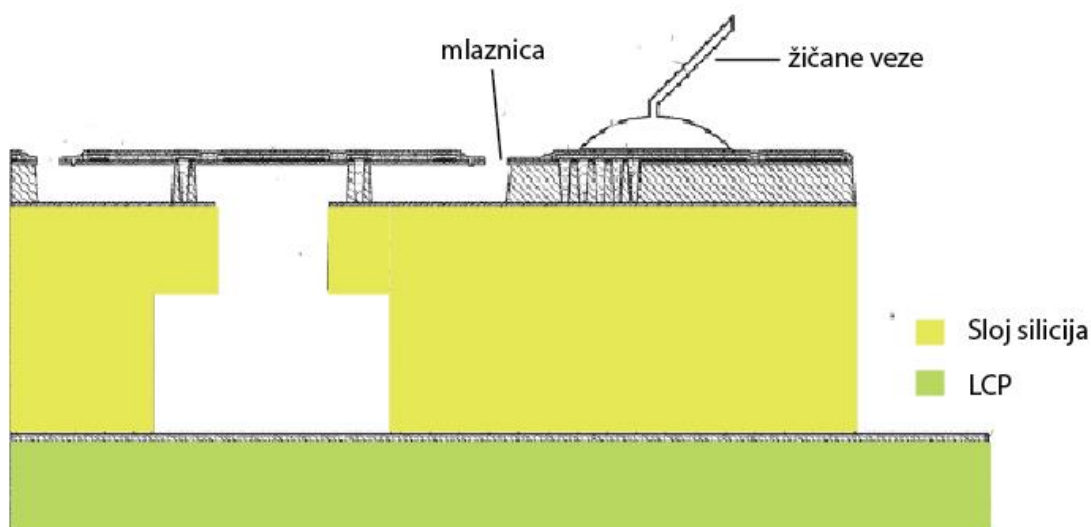
Na slici 9. uvećani je prikaz kanala za boju, piezo elementa i mlaznica s *MicroTFP* ispisnim čipom koji je proizveden korištenjem MEMS tehnologije. Spajanjem MEMS procesa s naprednim piezo elementom omogućena je proizvodnja mikroskopskih pokretača visokih performansi i visoko protočnih kanala za boju koji omogućavaju precizno i brzo izbacivanje boje. [12]



Slika 9. Glavne komponente PrecisionCore ispisnog čipa (Izvor: https://www.epson.ca/_alfresco/LandingPages/landing/PrecisionCore/PrecisionCore_White_Paper.pdf)

2.4.2.4. Poboljšanja u dizajnu MEMS ispisne glave

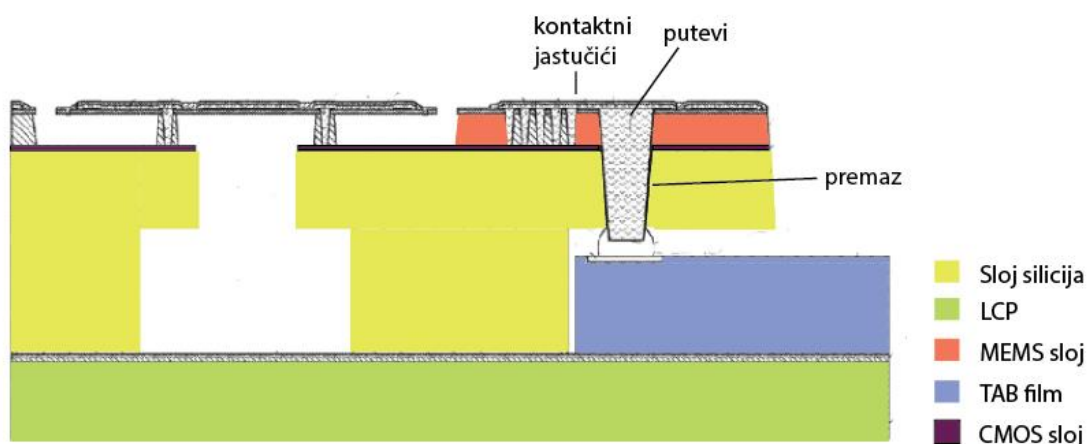
Jedan od nedostataka MEMS ispisnih glava je da su električne konstrukcije (od silicijske MEMS glave do tiskane pločice) povezane pomoću žičanih veza. Na slici 10. prikazan je stari dizajn MEMS ispisnih glava. Na slici je vidljivo kako se žičana konekcija uzdiže blizu mlaznica zbog čega je potrebno da se žičane veze oklopljuju kako bi se zaštitile od oštećivanja.



Slika 10. Stari dizajn ispisne glave (Izvor: <http://www.inkjetpatents.com/Resources/JF%2011%20Directions.pdf>)

Štit i konekcija znače da je podloga mlaznice neravna što otežava proces čišćenja glave (gumenom brisaču da prelazi preko površine). Dodatno, ispisna glava ne može biti premazana s hidrofobnim PDMS slojem = polidimetilsiloksan za kojeg su istraživanja pokazala da vodi do značajnog poboljšanja u kvaliteti otiska i održavanju mlaznica.

Na novom poboljšanom dizajnu veze su napravljene s donje strane silicija (slika 11). Putevi za žice su formirani kroz sloj silicija tijekom MEMS procesa izrade Inkjet glava. Kontaktni jastučići u silicijskom sloju povezuju sami sebe povezujući osnovni CMOS i aktivacijski sloj. Putevi su izolirani i silicijskim premazom koji može uključivati sloj čistog silicija (ili silicijevog oksida) dok je unutarnji sloj ređen od tantala. Tantal minimizira difuziju bakra u silicij i ponaša se kao sloj za elektrolizu bakra.



Eliminacijom lako hlapivih otapala, UV boje nisu zahtijevale dodatno zbrinjavanje para kao što je to slučaj kod tradicionalnih solventnih boja. [14]

UV LED je skraćenica od *ultraviolet light emitting diode* i pruža mnoge prednosti u odnosu na sušenje živinim žaruljama. Sušenje UV LED žaruljom odvija se na identičan način kao i korištenjem standardnih živinih žarulja. Kada se boja, premaz ili adheziv izlože UV žarulji uzrokuje se reakciju polimerizacije.

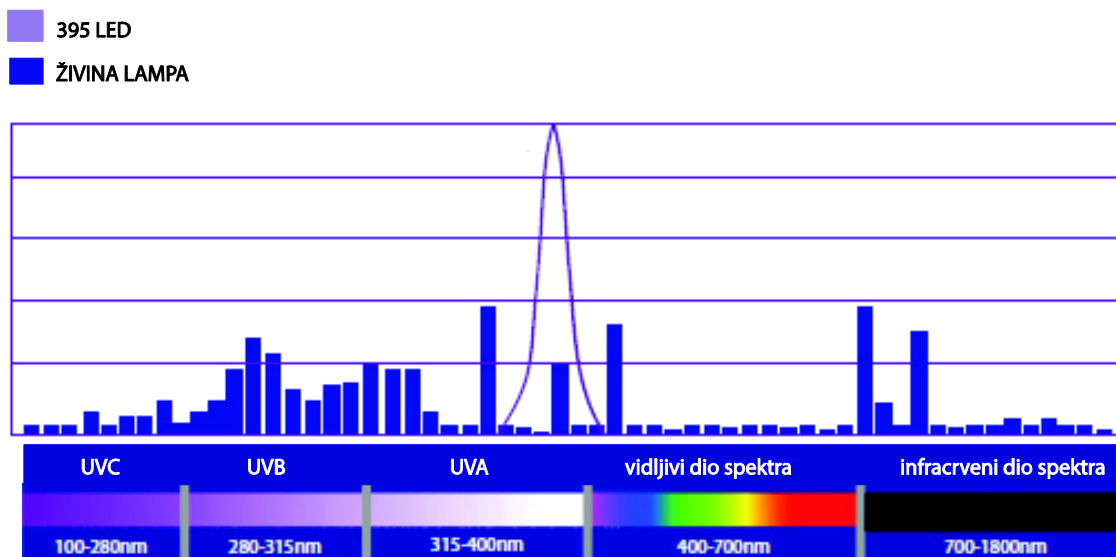
UV boja sastoji se od uobičajenih sastojaka pritom svaka daje određene karakteristike gotovoj boji. Pigment daje ton boji, snagu i svjetlinu otiska, oligomer koji ima ulogu spajanja, monomer ima ulogu otapala, fotoinicijator omogućava polimerizaciju i dodaci služe kao stabilizatori i za poboljšani tok.

Svaka UV boja sušit će se samo kada je izložena UV svjetlu. U tom slučaju, oligomeri i monomeri reagiraju sa fotoinicijatorima i reakcija počinje. Ako nema dovoljno svjetla, stvrdnjavanje će se dogoditi samo na vršnoj površini što može rezultirati lošom adhezijom. Izbor pigmenta utjecat će na izbor fotoinicijatora jer će oni direktno utjecati na apsorpciju UV svjetla. [15]

2.5.2. Razlika između živine i LED žarulje

Glavna razlika između standardne živine žarulje i LED žarulje je valna duljina emitirana iz takvih svjetlosnih izvora. Naravno obje utječu na stvrdnjavanje tekuće Inkjet boje. Standardna žarulja ima širok spektar valnih duljina. One se rasprostiru od UV-A, UV-B, UV-C, vidljivog do infracrvenog dijela spektra. To znači da formulacija Inkjet boje ima mješavinu fotoinicijatora koji joj dopuštaju optimalno učvršćivanje u većem dijelu UV spektra.

LED žarulja ima veoma usku emisiju valnih duljina s jednim vrhom (oko 395nm). Iako su LED lampe dostupne i s diodama izvorima one mogu uključivati valne duljine od 375nm, 395 nm, 405nm, i 410nm. Radi toga, tehnologija izrade Inkjet boje mora biti točno prilagođena izvoru kako bi se postigla maksimalna reaktivnost i dobri rezultati sušenja. Na slici 12 prikazana je usporedba valnih duljina živine i LED žarulje. [15]



Slika 12. Usporedba valnih duljina živine žarulje i LED žarulje (Izvor: http://uvledcommunity.org/uploads/pdfs/Technote-UV-LED-print-guide-US_web.pdf)

Kada se konstruira robustan UV LED sistem, mnogo je teže postići pravu formulaciju boje (kako bi se postigla dobra razina sušenja), nego izabrati izvor svjetlosti. Razina sušenja (stvrđnjavanja) boje ovisi o količini UV energije, ali i o tome koliko je dobro usklađena sa fotoinicijatorima u boji. Udio fotoinicijatora u UV sistemu iznosi od 0,5 do 10%. Međutim, fotoinicijator je samo mali dio UV Inkjet boje koja još sadrži oligomere i monomere. Fotoinicijator igra središnju ulogu u stupnju sušenja, ali je i sastav polimera i monomera također bitan. [15]

2.5.3. Prednosti UV žarulja

Pošto UV boja ne sadrži lako hlapiva otapala, opasne zagađivače zraka ili SARA 313 komponente, nisu potrebne dozvole koje dokazuju da su pogodne za okoliš. Čak i danas, korištenje boja koje suše pod UV žaruljom ostaje jedno od najmanjih zagađivača u industriji.

Jedna od mnogih prednosti boje koja suši pod UV žaruljom je količina energije potrebna da se boja osuši. Ta energija je puno manja nego što je potrebno da se osuši solventna boja. Trenutno sušenje UV boje rezultira bržim tiskom i doradom. Međutim, iako je utjecaj UV sušenja na okoliš minimalan, još uvijek postoji mjesta za napredak. Kako

cijena ugljikovodika nastavlja rasti, raste i potreba za smanjenjem utjecaja na okoliš. Tijekom posljednjih godina, došlo je do razvoja koji je utjecao na to da UV boja bude još više energetski učinkovita, čime se još više smanjuje utjecaj na okoliš. [14]

2.5.4. Nedostatci UV žarulja

Neki od nedostataka tradicionalnih UV žarulja su: lampe sadrže malu količinu žive i ako se razbiju potrebno je njihovo posebno zbrinjavanje. Zbog toksične prirode žive, postoji želja da se eliminira iz uporabe. Na temelju RoHS 2 direktive (ograničenja uporabe opasnih tvari), korištenje žive mora biti eliminirano iz svih uporaba gdje je živu moguće zamijeniti. Do 22. srpnja 2016. UV žarulje koje se koriste za sušenje boje još uvijek imaju iznimku od tog pravila. Ako se ta iznimka ne produži, korištenje UV žarulja za sušenje boje neće biti dopušteno u Europi. UV žarulje emitiraju valne duljine u UV području ispod 240 nm i ako nema filtriranja stvara se ozon. Zbog negativnog učinka ozona, u proizvodnji je potrebno ili napraviti posebnu ventilaciju ili aktivirati ugljeni filter. Kako bi ostala u funkciji, UV žarulja mora ostati iznad minimalnog svjetlosnog intenziteta. Ako energija padne ispod tog nivoa, žarulja neće proizvoditi svjetlo. UV žarulje ne mogu se trenutno ugasi/upaliti već je potrebno vrijeme da dođu do pune energije. Odnosno potrebno je vrijeme da se ohlade kako bi se ugasile. Time se stvara velika količina topline i moguća je deformacija neporoznih tiskovnih podloga i problema u registru. Tako je moguće presušiti papir i uzrokovati njegovo savijanje i pucanje. Za smanjenje utjecaja topline, koriste se *dichroic* filteri (koriste se za uklanjanje IR energije), sistemi za hlađenje vodom i zrakom. Prilikom hlađenja vodom i zrakom UV žarulje potrebno je izložiti ventilacijskom sistemu koji će ukloniti ozon. Zbog ozona na žaruljama potrebni su i zaštitni zasuni što čini sistem glomaznim. Efikasnost UV žarulja je obično ispod 15% iskorištene energije.

Sljedeći korak u poboljšanju jedne od najčišćih tehnologija otiskivanje je eliminacija nedostataka tradicionalnog UV sistema. Jedna od prvih tehnologija korištena da se smanje mane, bila je uporaba LED žarulja za sušenje. Mala i kompaktna veličina LED žarulja oslobađala je male količine topline što je njihova velika prednost. Posljednjih godina, snaga UV LED žarulja je poboljšana do te mjere da se može koristiti za visokoproduktivno otiskivanje. [14]

2.5.5. Prednosti korištenja UV LED žarulja

UV LED žarulja riješile su na mnoge nedostatke tradicionalne UV tehnologije. LED žarulje proizvode UV svjetlo na potpuno drugačiji način od tradicionalne UV tehnologije. Svjetlo se proizvodi kretanjem elektrona unutar poluvodiča, a ne iz električnog luka u vakuumu (što je slučaj kod tradicionalnih žarulja). Osim toga, UV LED žarulje ne sadrže živu. Tradicionalna UV žarulja emitira svjetlo valne duljine ispod 240 nm koje proizvodi ozon. Ozon je respiratorno štetan te uzrokuje glavobolje i iritacije očiju, nosa i grla. Ako je izloženost ozonu velika, može doći do smanjenja kapaciteta pluća. Ozon se zato kontrolira na radnom mjestu te je ograničenje izloženosti u zraku 0.1 ppm. UV LED žarulje rade na nižim temperaturama od UV žarulja. Temperature na kojima rade kreću se oko 60 °C dok živine žarulje proizvode toplinu do 350 °C. Rezultat toga je da UV LED žarulje ne trebaju zrak ili vodu za hlađenje. Iskorištenost energije kod živinih žarulja je 10-15% zato što je većina proizvedene energije transformirana u IR energiju u obliku topline. Kod LED žarulja, iskoristivost energije je 25-30% (transformirano u korisno UV svjetlo), a preostala energija se transformira u toplinu. Tradicionalne UV žarulje imaju radni vijek od 1000-2000 sati, dok neke od novih UV LED žarulja visoke snage imaju radni vijek do 20,000 sati. Energija potrebna za rad LED žarulje je 7.2 kW dok je za UV žarulju potrebno 12.2 kW. Ta razlika u potrošenoj energiji može dovesti do značajnih novčanih ušteda. [15]

2.5.6. Nedostatci UV LED žarulja

Kao i kod svih tehnologija, postoje neke mane UV LED žarulja. Za sada je to ograničena količina fotoinicijatora koji apsorbiraju svjetlo koje emitira LED žarulja. Zbog ovog ograničenja, LED stvrdnjavanje lakova i premaza postaje izazovnije. Fotoinicijatori koji se koriste za stvrdnjavanje ovih proizvoda imaju sklonost prelaska u žutu boju. Nakon sušenja rezultiraju dobrim dubinskim učvršćivanjem, ali lošim površinskim. To je u redu za bijelu boju, ali nije prihvatljivo pri korištenju bezbojnih lakova. Fotoinicijatori koji apsorbiraju točnu valnu duljinu su obično puno skuplji i dodani su u većoj koncentraciji. Tako velik udio dodaje se kako bi se savladalo djelovanje kisika koji remeti proces zadovoljavajućeg sušenja. To značajno povećava cijenu boje i premaza. LED žarulje, za sada, koštaju skoro 3.5 x više od UV žarulja. No kako raste popularnost i prihvaćanje

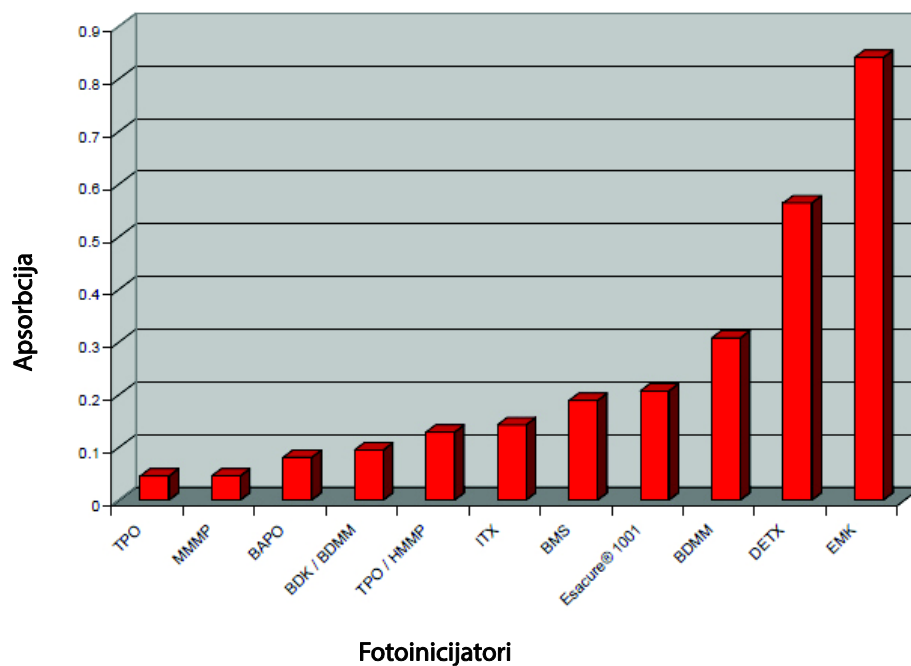
LED žarulja i njihova cijena će padati. Izlazna snaga LED žarulja se kontinuirano poboljšava, ali i dalje zaostaje u usporedbi s UV žaruljama. UV LED žarulje imaju dovoljnu snagu da osuši boja i premaze na većini tiskarskih strojeva na arke, ali imaju ograničenu upotrebu na visokoproduktivnim strojevima iz role. [14]

2.5.7. Vrste UV LED žarulja

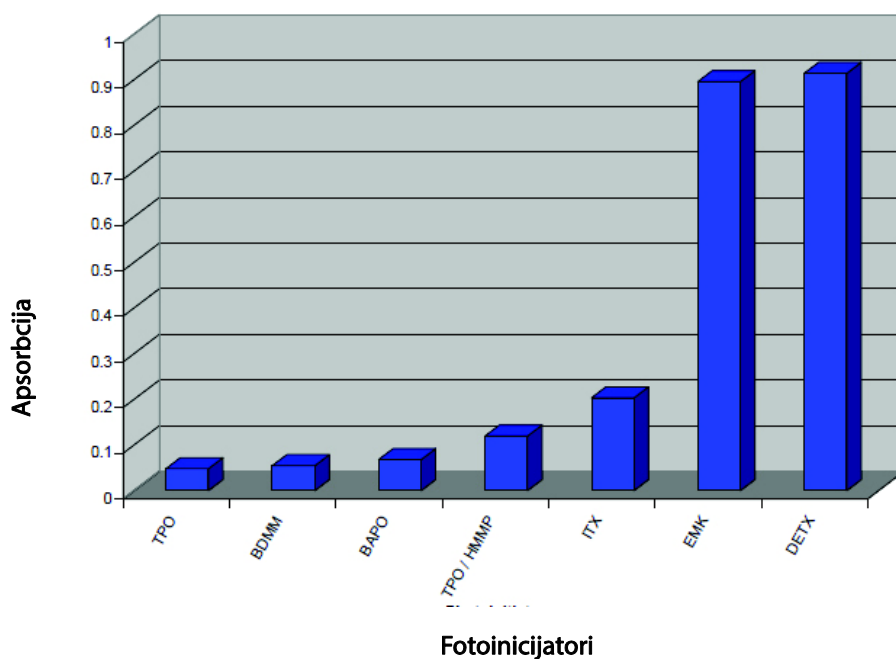
UV LED žarulje dolaze u različitim veličinama, snagama i valnim duljinama. Izlazni spektar LED žarulja je monokromatski. Izlaz im obuhvaća područje širine od samo 40 nm (s vrhovima na 365, 385 i 395 nm). UV LED žarulje mogu biti ciljano proizvedene za valne duljine od 350, 405, 210, 250, 275 ili 290 nm. Međutim, većina ovih žarulja su za posebnu uporabu, kao što je pročišćavanje vode. Smanjenjem izlaznog spektra, smanjena je i maksimalni intenzitet žarulje. Tako žarulja s izlaznim spektrom od 365 nm, ima maksimalan intenzitet 2 W/cm^2 , dok žarulja na 395 nm ima intenzitet $10\text{--}16 \text{ W/cm}^2$. [14]

2.5.8. Priprava UV boja i UV lakova

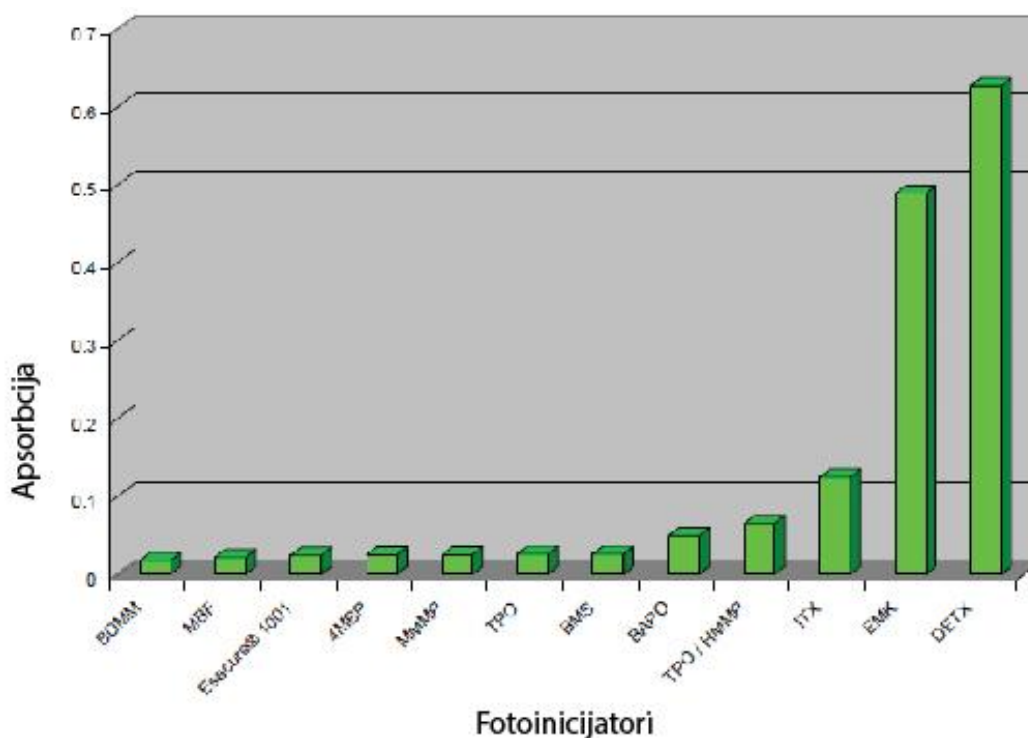
Prvi korak u pripravi UV boja ili lakova je analizirati valne duljine u kojima žarulja emitira svjetlost. U slučaju većine komercijalno dostupnih UV LED žarulja u tiskarstvu se koriste one čiji vršni pik je 385 ili 410 nm. Trenutno, postoji par fotoinicijatora koji apsorbiraju u tom dijelu spektra. Iako fotoinicijator apsorbira u ovom području, primarna apsorpcija je obično manja od 385 nm. Tako se efikasnost fotoinicijatora da apsorbira svo dostupno svjetlo na 385 nm i više smanjuje. Na slici 13 prikazani su fotoinicijatori koji apsorbiraju u elektromagnetskom području od 365 nm. Može se vidjeti da na 365 nm EMK (*Ethyl Michler's Ketone*) daje najbolju apsorpciju. Kako bi imali boju ili lak koju stvrdnjava na 365 nm, bilo bi korisno koristiti EMK u kombinaciji s ostalim fotoinicijatorima koji imaju apsorpciju na 365 nm. Samim time, ista tehnika tiska se može koristiti za žarulje drugih valnih duljina, kao što su 385 i 405 nm (slika 14 i 15). Fotoinicijatori koji se tada koriste su: EMK, DETX (diethylthioxanthone), BDMM, Esaacure 1001, BMS ($\text{C}_{20}\text{H}_{16}\text{OS}$), ITX ($\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{OS}$), TPO/HMMP, BDK/BDMM ($\text{C}_{16}\text{H}_{16}\text{O}_3$), BAPO, MMMP, TPO ($\text{C}_{22}\text{H}_{21}\text{O}_2\text{P}$). [14]



Slika 13. Fotoinicijatori koji apsorbiraju na valnoj duljini od 365nm (Izvor: http://uvledcommunity.org/uploads/pdfs/UV-LED-NPIRI-Paper_FlintGroup_Dec2014.pdf)



Slika 14. Fotoinicijatori koji apsorbiraju na valnoj duljini od 385nm (Izvor: http://uvledcommunity.org/uploads/pdfs/UV-LED-NPIRI-Paper_FlintGroup_Dec2014.pdf)



Slika 15. Fotoinicijatori koji apsorbiraju na valnoj duljini od 405nm (Izvor: http://uvledcommunity.org/uploads/pdfs/UV-LED-NPIRI-Paper_FlintGroup_Dec2014.pdf)

S UV LED žaruljama, izlazni dio spektra je na kraju UV elektromagnetskog spektra (365 nm, 385 nm, 395 nm i 405 nm). Pošto su valne duljine duže, svjetlost prodire dublje u boju ili lak (ostvaruje se temeljito skrućivanje). Međutim, nedostatak kratkih valnih duljina uzrokuje slabije površinsko stvrdnjavanje. Kao i kod svakog sistema stvrdnjavanja koji koristi slobodne radikale, kisik na površini remeti stvrdnjavanje. Kako bi se to savladalo, formulacija boje mora biti optimizirana kako bi smanjila utjecaj kisika na površini boje ili laka. Najučinkovitiji načini da se to postigne su sljedeće metode: kombinacija visokog nivoa fotoinicijatora i svjetlosnih izvora visokog intenziteta koji proizvode višak slobodnih radikala fotoinicijatora, korištenje plina koji uklanja kisik s površine (kao što je dušik ili ugljikov dioksid), korištenje vodikovih donora koji će ukloniti peroksidne radikale (primjer etera), korištenje voskova u boji ili laku (osigurava barijeru na otisnutoj površini) i upotreba UV svjetlosti kratkih valnih duljina.

UV boje mogu se formulirati tako da mogu raditi na visoko produktivnih tiskarskim strojevima na arke koji su opremljeni UV LED žaruljama. Sa novim postignućima u UV LED opremi, konvencionalni strojevi mogu ugraditi UV LED žarulje i postati

konkurentni na UV tržištu. Iako je početni trošak LED žarulja visok, ušteda energije i dugovječnost žarulja čini ih atraktivnima. Tradicionalni strojevi koji koriste UV žarulje također mogu imati neke prednosti. Moguće je formulirati boje i lakove koji se mogu koristiti za visokoproduktivni tisak i ambalažu. Odgovarajućim testiranjem moguće je ostvariti i korištenje UV boja za prehrambenu ambalažu (za određene tipove hrane). Kako tehnologija nastavlja rasti, mogućnosti korištenja ovih procesa sušenja postat će sve veće i cijena će nastaviti padati. Proizvođači žarulja rade velike pomake udvostručavanjem izlazne energije lampe otprilike svake 2 godine. Trenutno, jedine žarulje koje mogu dati odgovarajuću snagu su one bazirane na valnoj duljini od 395 nm. Rad na ostalim tipovima žarulja se nastavlja, ali trenutna efikasnost je mala. Za očekivati je da će doći do poboljšanja samih fotoinicijatora. Ne samo da će proizvoditi slobodne radikale, već će morati osigurati način za ekstrakciju boje i lakova. S beneficijama UV LED žarulja i nastavkom na inovacijama od strane proizvođača boja i proizvođača žarulja, ova tehnologija dovest će do novih mogućnosti i u budućnosti. [14]

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Plan rada i metode istraživanja

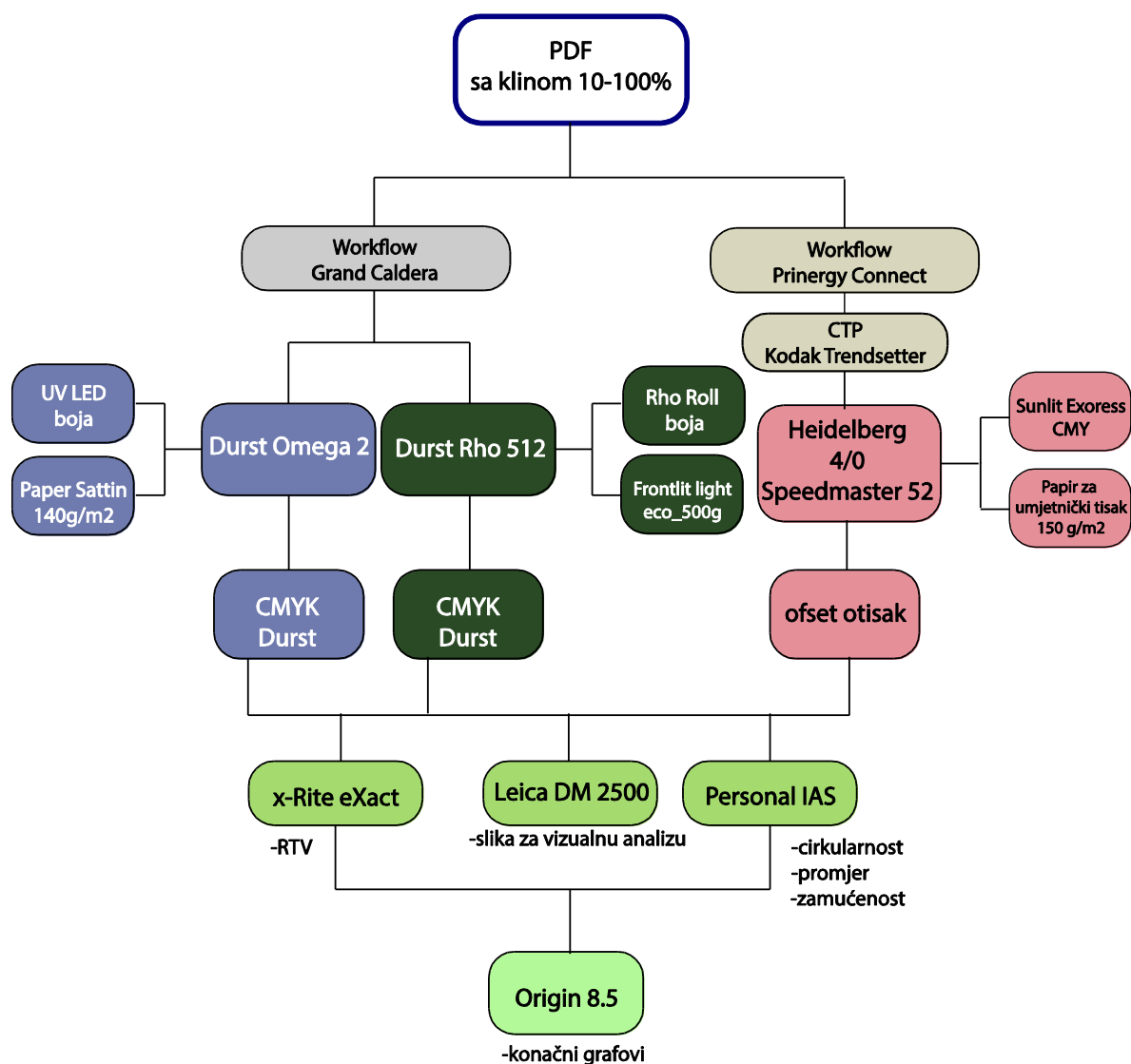
U ovom radu cilj je istražiti da li se modularnim slaganjem manjih ispisnih glava u jednu veću utječe na buduću kvalitetu Inkjet otiska te da li pritom nastaju kakve anomalije na otisku. Za očekivati je da će se pri reprodukciji najsvjetlijih tonova mogu uočiti nepravilnosti u realizaciji rasterskih elemenata i konačne slike.

U radu se ispituje se utjecaj veličine Durstovih MEMS Inkjet glava na kvalitetu reprodukcije. Za istraživanje su se izradili otisci otiskivanjem na tri proizvodna stroja: Inkjet Durst Omega 2, inkjet Durst Rho 512 i klasičnom ofsetnom stroju 4/0 Speedmaster 52. Svi inkjet otisci ostvareni su u DEMO centru Durst u Lienzu (Austrija) uz korištenje *workflow-a* Grand Caldera. Odabir ova dva stroja ciljano je napravljen kako bih se testirao učinak Durstove najmanje i Durstove najveće produkcijske glave (najproduktivnije). Durst Omega 2 koristi LED UV Inkjet boju koja se je otisnula na *TriSolv Papper Sattin* tiskovnu podlogu. Durst Rho 512 koristi Rho Roll UV Inkjet boju i ona se je otisnula na podlozi *Heytex Frontlit light eco*.

U istraživanju ofsetni otisak se koristio kao referentni otisak (za usporedbu kvalitete s reprodukcijama Inkjeta). Ofsetni otisak kreirao se pomoću *workflow-a* Kodak Prinergy, nakon čega je tiskovna forma osvjetljavana na CTP Kodak Trendsetteru. Ispitivani uzorak ofetnog otiska otisnut je *Sunlit Express* bojom na 140 g/m^2 *Kunstdruck gloss* papiru. Na svim strojevima testirani motiv sadržavao je rasterski klin u rasponu od 10-100% RTV (u koraku od 10%) te mikro tekst veličine od 1 do 6 pt.

Dobiveni otisci kolorimetrijski su mjereni sa spektrofotometrom x-Rite eXact koji u sebi sadrži PSO standard za ofsetni tisak (usklađena sa FOGRA standardom). Pritom su dobiveni denzitometrijski rezultati pomoću kojih su konstruirane krivulje reprodukcije (rastertonske vrijednosti otiska i rastertonske vrijednosti originala). Na uređaju x-Rite eXact moguće je odabrati izvor svjetlosti i uvjet mjerenja. U istraživanju je korišten izvor svjetlosti tipa A (temperatura svjetlosti 2850 K) i uvjet mjerenja M2 (filter koji isključuje UV). Preciznost mjerenja bila je podešena na dvije decimale, a gustoća obojenja mjerena je uz status E. Aktivne funkcije mjerenja bile su gustoća, karakteristike otiska te vrijednost tona.

Korištenjem mikroskopa Leice DM 2500 s priključenom Dinolite kamerom provedena je detaljna slikovna analiza otisaka. Pritom su se vizualno analizirali rasterski elementi na polju od 20% RTV (pri povećanju od 250 puta) te segmenti tekstualnog elementa veličine 4 pt (pri povećanju od 100 puta). U radu su uz pomoć Personal IAS-a dodatno izmjerena područja od 10%, 20%, 30% RTV. Pritom su dobiveni broježani podaci za cirkularnost, promjer i distribucija rasterskih elemenata te širina segmenata vertikalne linije elementa veličine 4pt, raspodjela rasterskih elemenata, početno i završno zamućenje. Svi konačno dobiveni rezultati obrađeni su i grafički su prikazani pomoću aplikacije Origin 8.5. Shema izvršenog eksperimenta prikazana je na slici 16.



Slika 16. Shema izvršenog istraživanja

Na slikama 17, 18, 19 prikazane su eksperimentalni uzorci otisnuti na Durst Rho 512 stroju, na Durst Omega 2 stroju i na Heidelber Speedmaster 52 stroju.



Slika 17. Eksperimentalni uzorak otisnut na Durst Rho 512 stroju



Slika 18. Eksperimentalni uzorak otisnut na Omega 2 stroju



Slika 19. Eksperimentalni uzorak otisnut na Speedmaster 52 stroju

3.2. Materijali korišteni u istraživanju

3.2.1. Tiskovne podloge

3.2.1.1. Heytex Frontlit light eco

Heytex Frontlit light eco gramature 500g/m^2 korišten je kao tiskovna podloga za otiske na Durst Rho 512 stroju. Riječ je o foliji koja je u potpunosti neupojna te se primjenjuje u tehnikama tiska koje suše UV zračenjem i isparavanjem tiskarske boje.

HEYTexove tiskovne podloge koriste se za solventne, eko solventna i lateks boje te su prigodne UV sušeće boje. Vremenski su otporna te se koriste za zastave, velike formate za oglašavanje, plakate, cerade za kamione. Proizvodi su u rolama čije širine variraju od 50 cm do 500 cm. U tablici 4 prikazane su osnovne karakteristike poliesterske folije Frontlit. [16]

Tablica 4. Specifikacija tiskovne podloge Heytex Frontlit light eco

SPECIFIKACIJE	Frontlit light eco_500g_H5022_Heytex
osnovni materijal	poliester
tkanje	L 1/1
pređa	1100/1100 dtex
težina osnovne tkanine	oko 160 g/m^2
materijal za oblaganje	PVC obostrani
ukupna težina	500g/m^2
vučna snaga	2100/2000 N/S cm
otpornost na plamen	DIN 75200 max. 100 mm/min

3.2.1.2. TriSolv Paper Sattin

TriSolv Paper Sattin gramature 140 g/m^2 korišten je kao tiskovna podloga za otiske na Durst Omega 2 stroju. TriSolv Prime Art je višeslojni premazani papir koji je vodootporan te je razvijen posebno za solventne i UV sušeće boje. Njegova uporaba je za izradu grafičkih proizvoda koji su izloženi ekstremnim vanjskim uvjetima. Svi TriSolv papiri koriste se za tisak plakata velikih formata, izuzetno su otporni na ogrebotine te se lako savijaju. Također, na TriSolv papiru moguće je postići foto-realistične otiske te se

koriste i za tisak znakova u unutarnjim prostorima, kratkoročne promocije u interijerima, velike gradske plakate, plakate s pozadinskim svjetlom. Na njima je moguće otisnuti i Lite i eko-solventne boje, a kompatibilan je i s lateks bojom. [17]

Tablica 5. Specifikacija tiskovne podloge Trisol Paper Sattin

SPECIFIKACIJE	Trisol Paper Sattin
Osnovni materijal	Papir
Težina	140g/m ²
Sjaj	25
Opacitet	>95 %
Boje	solventne, UV sušeće, lateks

3.2.2. Inkjet tiskovna boja

3.2.2.1. UV LED inkjet boja

Inkjet tiskarski stroj Durst Omega 2 koristi posebne UV LED sušeće boje, za vanjske i unutarnje aplikacije. Zbog proizvodnje nižom energijom, Omega 2 printera, Omega 2 UV LED inkjet boja savršeno odgovara materijalima osjetljivim na toplinu kao što su tanke i samoljepljive folije te nudi savršeno prianjanje čak i na površine kao što su metali, polikarbonati i akrili što je veoma važno za proizvođače znakova i grafičke dizajnere koji rade u oglašavanju. Boja dolazi u jednokratnim spremnicima zapremnine od jedne litre koji se mogu ekološki zbrinuti. Dostupne boje su: cijan, magenta, žuta, crna, svijetla cijan, svijetla magenta, siva, bijela i dupla bijela. Otpornost na vanjske utjecaje koja sprječava da boja blijedi je ocijenjena s ocjenom 8 (najviša ocjena moguća na standardiziranoj internacionalnoj Bluewool skali za sve boje. [18] Stroj Omega 2 idealan je alat za grafičke dizajnere, proizvođače znakova, umjetnike, tiskare i foto-studije, tiskare koje koriste pločastu tiskovnu podlogu, a žele početi s digitalnim UV Inkjet tiskom bez riskiranja. Način tiska s duplom bijelom omogućava tisak bijele boje bez smanjenja produktivnosti. [20]

3.2.2.2. Rho Roll 30 DM inkjet boja

Rho Roll 30 DM Inkjet boja je najekonomičnije i tehnički optimalno rješenje za fleksibilne materijale koje se otiskuju na strojevima Rho 500R serije. Optimizirana je za tkanine, vinil i ostale fleksibilne materijale uključujući samoljepljive folije, papire, tkanine za zastave i ofset papire. Najbolja adhezija postiže se na papiru i tkanini. Rho Roll boja koja se koristi u Durst Rho 512 stroju sadrži pigmente koji su akreditirani sa Nordic Swan certifikatom te su pogodni za tisak vanjskih i unutarnjih aplikacija. Nordic Swan eko oznaka ocjenjuje utjecaj proizvoda na okoliš tijekom cijelog njegovog životnog vijeka i među ostalim, garantira da je prilagođen klimatskim zahtjevima te da je emisija ugljikovog-dioksida (i ostalih štetnih plinova) ograničena. Pigmenti Rho Roll boje su kvalificirani na Blue Wool skali vrijednosti 8 i ne sadrže hlapiva organska otapala. Sušenje se ostvaruje uz pomoć sistema dvije potpuno neovisne zrakom hladene UV žarulje (7.2 kW) koje se reguliraju u 15 stupnjeva snage. Dostupne boje su: cijan, magenta, žuta, crna, svijetla cijan i svijetla magenta. [18]

3.2.2.3. Sunlit Express ofsetno bojilo

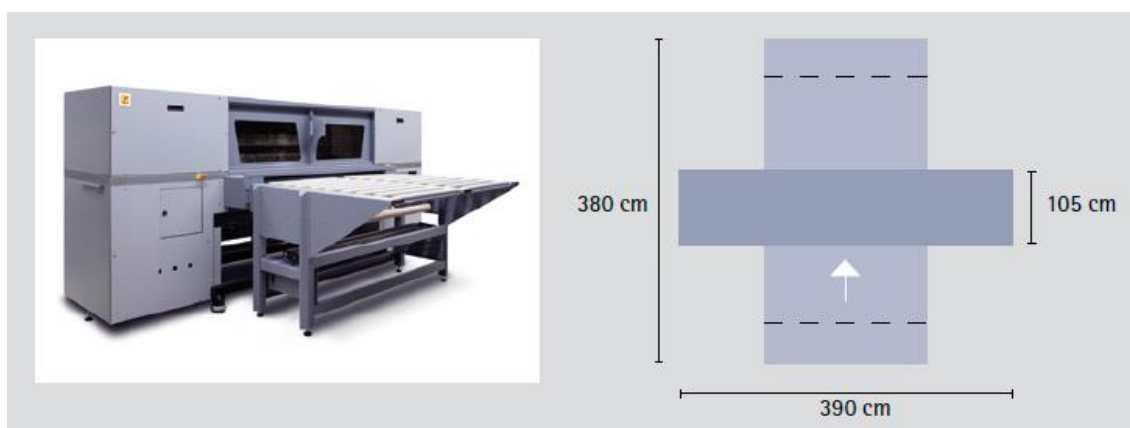
Sunlit Express ofsetno bojilo je visokoproduktivno ofset bojilo posebno namijenjeno za brzo tiskanje i doradu te se može koristiti u svim ofsetnim strojevima iz arka. Osnovna četiri procesna bojila (cijan, magenta, žuta i crna) ne sadrže mineralna ulja, već su na bazi biljnih smola i ulja. Ova boja se suši na dva načina: penetracijom u podlogu i vrlo visokim stupnjem oksidacije. Njena formulacija je prilagođena brzom sušenju tako se više suši oksidacijom, a manje penetracijom. Pošto sadrži dodatne komponente (voskove) sprječava se preslikavanje boje i pogodna je za obostrani tisak. Omogućava otiskivanje na premazane i nepremazane papire i kartone, no nije prikladna za otiskivanje na foliju, neupojne podloge i za tisak na ambalažu za prehrambenu industriju. [19]

3.3. Strojevi korišteni za otiskivanje uzoraka

3.3.1. Durst Omega 2

Durst Omega 2 omogućava serijski ispis uz visoku kvalitetu otiska. Za sušenje boje Omega 2 koristi UV-LED tehnologiju i tako omogućava tisak na podloge osjetljive na

toplinu. Visoku kvalitetu tiska postiže zahvaljujući rezoluciji do 1728 dpi, dobro otiskuje sive tonovima i ostvaruje širi gamut boja uz dodatne boje (siva, svijetla magenta i svijetla cijan). Magnetski linearni pogon glave i senzori napravljeni su za visoku preciznost proizvodnog procesa. Također, Omega 2 sadrži elektrostatski uređaj u ispisnim glavama koji kod kontinuiranog tiska osiguravaju dobar rad na akrilnim podlogama i panelima bez ostavljanja aerosola. To ovaj model čini ekološki prihvatljivim i sigurnijim za zdravlje. [20] Na slici 20 prikazan je Durst Omega 2 stroj i potreban prostor za postavljanje stroja.



Slika 20. Durst Omega 2 i skica potrebnog prostora za postavljanje (Izvor: http://www.blackignition.co.za/download/files_15/BrochureDurstOmega2EN.pdf)

Omega 2 kombinira desetljeća iskustva u *flatbed* tisku i tisku iz role. Najnovijom tehnologijom konstrukcije omogućuje veoma lako otiskivanje na oba načina ulaganja tiskovne forme. Otiskivanje je moguće na krutim materijalima kao što su Kapa, Forex, Dibond, akrili i drvene ploče s maksimalnom debljinom od 5 cm, ali i na samoljepljive folije, papir, PVC vinil, polietilen podloge ili tkanine širine do 160 cm. Sve što je potrebno je platforma od 15 m² kako bih se mogle raditi izvrsne stvari: slike izvrsne kvalitete u širini od 160 cm s neograničenom dužinom brzinom do 35 m² na sat.

Za rad Omegi 2 potreban je prostor 3,8 x 3,9 m. Raspon temperature u prostoriji trebao bi biti između +15 °C i 30 °C, a relativna vlaga zraka 40-80%. [20] Specifikacije stroja Durst Omega 2 prikazane su u tablici 5.

Tablica 6. Specifikacije stroja Durst Omega 2

Specifikacije	Durst Omega 2
Način tiska	Plošni i u roli
Rezolucija	Do 1728 dpi, crno-bijelo 576 x 600 dpi
Boje	CMYK + svijetla magenta, svijetla cijan Dodatne opcije: siva, bijela, dupla bijela
Boja	UV LED
Softver/RIP	Linux / Caldera
Brzina	Do 35 m ² /h
Dimenzije	Printer 390 x 105 x 170 cm Printer i stolovi: 390 x 380 x 170 cm
Težina	2,000 kg
Maksimalna dužina tiska	Ovisi samo o dužini tiskovne podloge
Maksimalna širina tiska	160 cm

3.3.2. Durst Rho 512R

Durst Rho 512 postavlja standard kvalitete za visoku Inkjet industrijsku produktivnost. To je ostvareno zahvaljujući Quadro Array 12M tehnologiji ispisnih glava koje izbacuju kapljice veličine samo 12 pikolitara. S malom veličinom kapljice moguće je ispisivati kvalitetom do 800 dpi i brzinom do 350 m² na sat. Rho 512 dizajniran je za tisak na raznolike velike formate za oglašavanje. Također, može otiskivati tri role širine 1,6 m odjednom. S visokom preciznošću sistema za transport, linearnom tehnologijom pokretanja motora, poboljšanom Quadro Array tehnologijom i ispisnom glavom s više od 30,000 mlaznica, postiže optimalnu kvalitetu tiska bez gubitka na brzini. Niski troškovi proizvodnje i niska potrošnja boje čine ga jednim od najekonomičnijih printera ikad.

Za modulaciju veličine kapljice koristi se poseban prilagodljivi binarni način za davanje raznih impulsa. Kombinira dva napona za davanje impulsa na takav način da drugi impuls daje preciznu dozu količine boje u kapljicu prije nego se odvoji od mlaznice bez formiranja ikakvih satelita. U usporedbi s uobičajenim nejednakim kapljicama, ove kapljice imaju savršeno uniformiran oblik i jednolični razmak. Korištenje ovog načina

variranja veličine kapljica, produktivnost se povećava za 25%. [21] Na slici 21 prikazan je stroj Durst Rho 512.



Slika 21. Durst Rho 512 (Izvor:

<http://www.durstus.com/products/productDetail.php?Rho-512R-16>)

Tisak je moguć na široki raspon premazanih i nepremazanih podloga u roli kao što su vinil zastave i mreže za oblaganje pročelja, cerade, cerade za kamione, poliester, platno, papir, samoljepljivu PVC foliju i PVC/PA transparentne podloge. Za rad mu je potreban prostor od 13 x 10 m, temperature od +15 °C do +30 °C i vlage od 25-80%. Durstov model Rho 512 ima najveću pouzdanost na tržištu i omogućava proizvodnju 24/7. [21] Specifikacije stroja Durst Rho 512 navedene su u tablici 6.

Tablica 7. Specifikacije Durst Rho 512

Specifikacije	Durst Rho 512
Rezolucija	800 dpi
Boje	CMYK Dodatno: svijetla cijan. svijetla magenta. bijela, odabrane spotne boje (na zahtjev)
Boja	UV sušive boje
Softvere/RIP	Touch Screen Linux / Caldera
Maksimalna širina otiska	500 cm
Maksimalna dužina otiska	Ograničeno samo duljinom tiskovne podloge
Maksimalna debljina tiskovne podloge	2 mm
Maksimalni promjer role	350 mm
Brzina tiska	Do 350 m ² /h

3.4. Uređaji korišteni u istraživanju

3.4.1. x-Rite Exact

X-Rite eXact je iznimno fleksibilan uređaj, dizajniran s ciljem zadovoljavanja korisnikovih potreba, bez obzira koliko one egzaktna bile. Korisnik na izborniku može prilagoditi niz postavki kako bi dobio željena precizna mjerenja. Moguće je mjeriti u malim i velikim poljima pri čemu je minimalna površina skeniranja je 3x3 mm. Promjer mjernog zaslona može biti 1.5 mm, 2 mm, 4 mm i 6 mm. Kalibracija uređaja je automatska. Osim spektrofotometrijskih opcija moguće je mjeriti i denzitometrijske pri čemu uređaj može automatski izračunati rastertonske vrijednosti. [22] Na slici 22 prikazan je uređaj x-Rite eXact, a u tablici 7 prikazane su karakteristike uređaja.



Slika 22. Spektrofotometar x-Rite Exact (Izvor: <http://www.flexodepot.com/X-Rite-eXact-P617.aspx>)

Tablica 8. Specifikacije uređaja x-Rite eXact

SPECIFIKACIJE	x-Rite eXact
dimenzije	7.6 x 7.8 x 18 cm
težina	700g
raspon valnih duljina	400-700nm
raspon mjerenja	0-200% refleksija
brzina mjerenja	2 s
optička razlučivost	10nm
geometrija	45°/0°
standardni promatrač	2°/10°

3.4.2. Leica DM 2500

Leica DM 2500 koristi se za uvećavanje otisaka te njihovo dodatno ispitivanje. Zbog toga sadrži objektivne koji omogućavaju povećanje od 100x, 200x, 250x i 400x. Pri radu koristi halogeno osvjetljenje od 100W. Na mikroskop je moguće montirati kameru Dino-Lite kojom se uz pomoć programa DinoCaptura digitalizira slika uzorka nakon čega je moguće izvršiti vizualnu i slikovnu analizu. U tablici 8 prikazane su specifikacije mikroskopa Leica DM 2500. [23]

Tablica 9. Specifikacije uređaja Leica DM 2500

Specifikacije	Leica DM 2500
Objektivi	2.5, 10, 20 i 40x
Osvjetljenje	12V 100W halogen
Fokusiranje	fokusiranje u 2 stupnja (preciznosti 1 mikrometar) fokusiranje u 3 stupnja (preciznosti 1-4 mikrometra)
Postolje	čvrsto metalno postolje s mogućnosti prilagođavanja visine

Na slici 23 prikazan je uređaj Leica DM 2500.



Slika 23. Mikroskop Leica DM 2500 (Izvor: <http://www.leica-microsystems.com/products/light-microscopes/clinical/upright-microscopes/details/product/leica-dm2500/>)

3.4.3. Personal IAS

Personal IAS je prijenosni digitalni mikroskop i analizator kvalitete otiska. Namijenjen je analizi otisnutih tiskovnih elemenata. Personal IAS-om tako je moguće istraživati kvalitetu svih oblika rasterskih elemenata mjerenjem njihovih promjera, područja, perimetra, cirkularnosti, postotka rastera u polutonovima, linije i kuta zaslona. Kvaliteta otisnutih linija određuje se mjerenjem širine, gustoće, popunjenosti, zamućenosti, oštrome rubova, kontrasta, udaljenosti i diskontinuiteta. Analiza reprodukcije punog tona radi se

mjerenjem refleksije, gustoće, postotka pokrivenosti površine, sivog balansa i kontrasta otiska. Svojim specijalno konstruiranim softverom omogućava ROI baziranu analizu na trenutnoj ili pohranjenoj slici što uključuje mjerenje udaljenosti 2 točke, automatski ili ručni odabir boje, automatsku detekciju orijentacije linije, automatska detekciju tamne/svijetle točke, statistička i grafička iscertavanja, pohranjivanje i rukovanje podacima (PC kompatibilne datoteke i *raw* podaci te analizirani rezultati). [24] Specifikacije uređaja Personal IAS prikazane su u tablici 9, a na slici 25 prikazan je uređaj.

Tablica 10. Specifikacije Personal IAS

SPECIFIKACIJE	Personal IAS
dimenzije	23.1cm x 9.4 cm x 5.3 cm
težina	850 g
zaslon	LCD (320 x 240)
geometrija mjerenja	Širokopojasno difuzno osvjetljenje ; $> 45^{\circ} / 0^{\circ}$ gledanja
detektor	boja CCD
rezolucija	5 μm po pikselu
veličina otvora	2.4 x 2.4 mm
minimalna veličina točkice	10 μm promjera
kalibracija	tvornički kalibriran
ponovljivost (prostorna):	bolja od $\pm 2 \mu\text{m}$
ponovljivost (optička)	bolja od $\pm 0.05 \mu\text{m}$
ponovljivost (točke %)	bolja od $\pm 1\%$ na 200 lpi
vrijeme mjerenja	obično 6 sekundi (ovisi o funkcijama mjerenja)



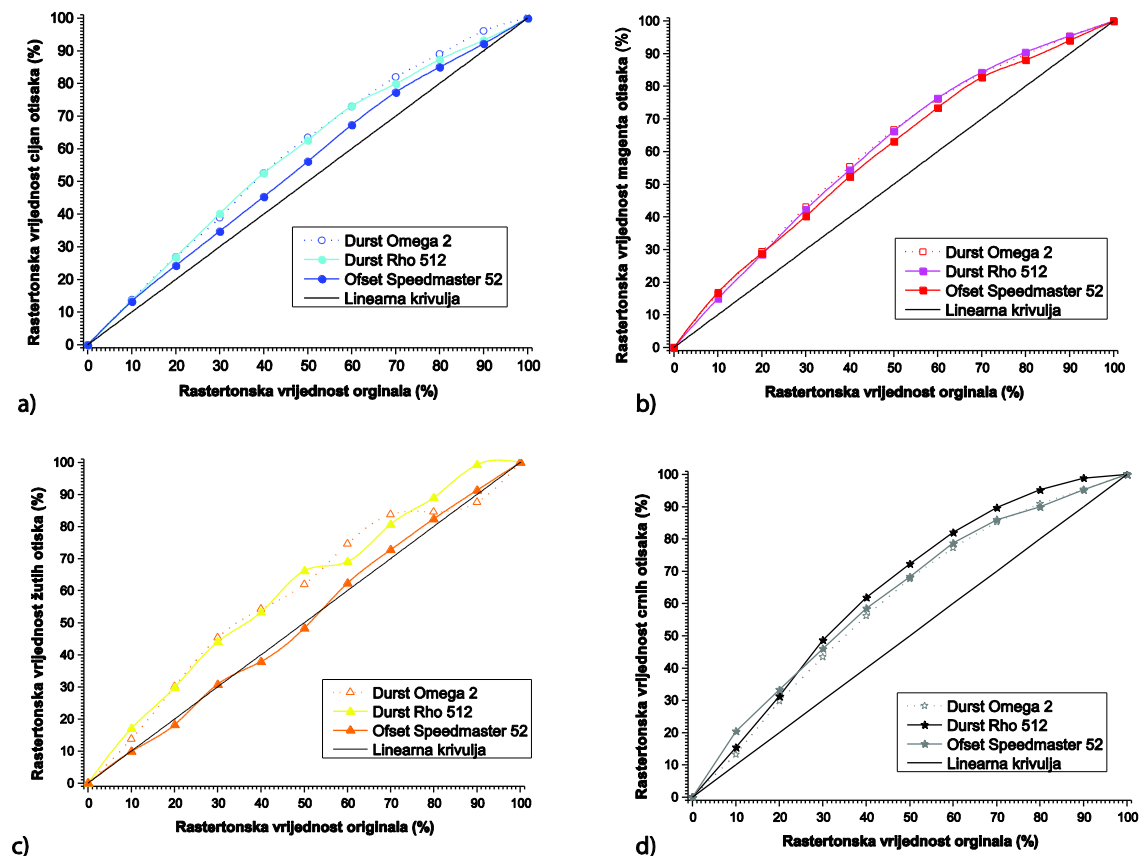
Slika 25. Personal IAS (Izvor: http://www.qea.com/products-image_quality_analysis.htm)

4. REZULTATI I RASPRAVA

Da bi se usporedile karakteristike otisaka različitih strojeva i tiskarskih tehnologija potrebno je izvršiti denzitometrijska mjerenja i slikovnu analizu. U ovom radu izvršeno je određivanje krivulja reprodukcije (denzitometrijska metoda), mjerenje promjera rasterskih elemenata, cirkularnosti rasterskih elemenata, distribucije rasterskih elemenata i zamućenja linije (slikovna analiza).

4.1. Krivulje reprodukcije

Karakteristike nastalih otisaka najjednostavnije je prikazati kao krivulje reprodukcije. Pritom su denzitometrijski komparirane rastertonske vrijednosti originala (idealna digitalna slika) i otisnute rastertonske vrijednosti. Na slici 26. prikazane su krivulje reprodukcije za CMYK boje i tri eksperimentalna tiskarska stroja: Heidelberg Speedmaster 52 (litografski stroj), Durst Omega 2 (Inkjet) Durst Rho 512 (Inkjet).



Slika 26. Krivulje reprodukcije Durstovih strojeva s različitom veličinom ispisne glave
a) cijan, b) magenta, c) žute i d) crne kolorne separacije

Na krivuljama reprodukcije uočava se da devijacija nije jednaka za sve RTV te je najveća u srednjim tonskim vrijednostima (50% RTV).

Kod cijan otiska krivulje reprodukcije su pravilne i ujednačene. Od svih testiranih strojeva najmanji prirast RTV-a bit će kod Offset Speedmastera 52 u svijetlim tonskim vrijednostima koji iznosi $Z_{20\%RTV} = 3,27\%$, a najveći kod Durst Omega 2 ($Z_{50\%RTV} = 13,47\%$). U srednjim tonskim vrijednostima oba testirana Durstova modela imaju gotovo identične krivulje te se u odnosu na otisak Offset Speedmastera 52 uočava razlika u prirastu $\Delta Z_{Durst-Offset} = 7,34\%$. U tamnim tonskim vrijednostima (80% RTV) najveći prirast ostvaruje Omega 2 ($Z = 9\%$), a najmanji Speedmaster 52 ($Z = 2,20\%$).

Kod magenta otiska prirast RTV će kod svih modela strojeva biti veći od cijan otiska. Najveći prirast bit će kod stroja Omega 2 ($Z_{50\%RTV} = 6,67\%$). Krivulje reprodukcije su također pravilne. Pri svijetlim tonskim vrijednostima sva tri modela ostvaruju gotovo jednake priraste koji u prosjeku iznosi $Z = 28,9\%$. U srednjim tonskim vrijednostima Durstovi modeli pokazuju veoma malu razliku i odnosu na Offset Speedmaster 52. Ona iznosi $\Delta Z_{Durst-Offset} = 3,35\%$. U tamnim tonskim vrijednostima najveći prirast ostvaruje stroj Durst Rho 512 ($Z_{80\%RTV} = 10,43\%$), a najmanji Offset Speedmaster 52 ($Z_{80\%RTV} = 8,03\%$).

Žuti otisci također imaju pravilne krivulje reprodukcije. Međutim, prirast kod Durstovih modela ne raste tako pravilno s RTV-om što je slučaj kod ostalih kolornih separacija. Također, primjećuje se da krivulja reprodukcije Offset Speedmastera 52 najbolje prati linearnu krivulju pri gotovo svim RTV. Durstovi modeli veoma se slično ponašaju pri svijetlim tonskim vrijednostima. U odnosu na Offset Speedmaster pokazuju devijaciju od $\Delta Z_{Durst-Offset} = 11,77\%$ RTV. Kod srednjih i tamnih tonskih vrijednosti Durst Rho 512 ima veći prirast od Durst Omega 2 ($\Delta Z_{Omega\ 2-Rho\ 512} = 4,26\%$). Međutim, u tamnim tonskim vrijednostima Durst Omega 2 postiže slične priraste kao i Offset Speedmaster 52. Devijacija između njih iznosi samo $\Delta Z_{Omega\ 2-Offset} = 2,2\%$.

Crne otiske karakteriziraju najpravilnije krivulje reprodukcije pri čemu su sva tri modela u svijetlim tonskim vrijednostima vrlo slična. Tako otisak s Offset Speedmasterom 52 ima veći prirast od Durstovih modela za $\Delta Z_{Durst-Offset} = 2,75\%$. U srednjim i tamnim tonskim vrijednostima najveći prirast postiže Durst Rho 512 ($Z_{50\%RTV} = 72,27$, odnosno

$Z_{80\% \text{ RTV}} = 95,23\%$). Otisci Offset Speedmastera 52 i Durst Omega 2 gotovo su identični i ostvaruju devijaciju istih tonova od $\Delta Z_{\text{Omega 2-Offset 512}} = 1\%$.

Durst Omega 2 i Durst Rho 512 u svim kolornim separacijama pri svijetlim tonskim vrijednostima ne ostvaruju značajne razlike. U srednjim tonskim vrijednostima veće razlike pokazuju u žutoj separaciji ($\Delta Z_{\text{Omega-Rho}} = 17,9$), a manje u magenta ($\Delta Z_{\text{Omega-Rho}} = 3,13$), cijan separaciji ($\Delta Z_{\text{Omega-Rho}} = 6,5$) i crnoj ($\Delta Z_{\text{Omega-Rho}} = 4,64$). U tamnim tonskim vrijednostima Durst Rho 512 postiže veći prirast RTV od Omega 2. U žutoj separaciji to iznosi: $\Delta Z_{\text{Rho-Omega}} = 4,46$, u crnoj separaciji: $\Delta Z_{\text{Omega-Rho}} = 4,33$, a u cijan separaciji: $\Delta Z_{\text{Omega-Rho}} = 3,13$ i magenta separaciji $\Delta Z_{\text{Omega-Rho}} = 2,33$.

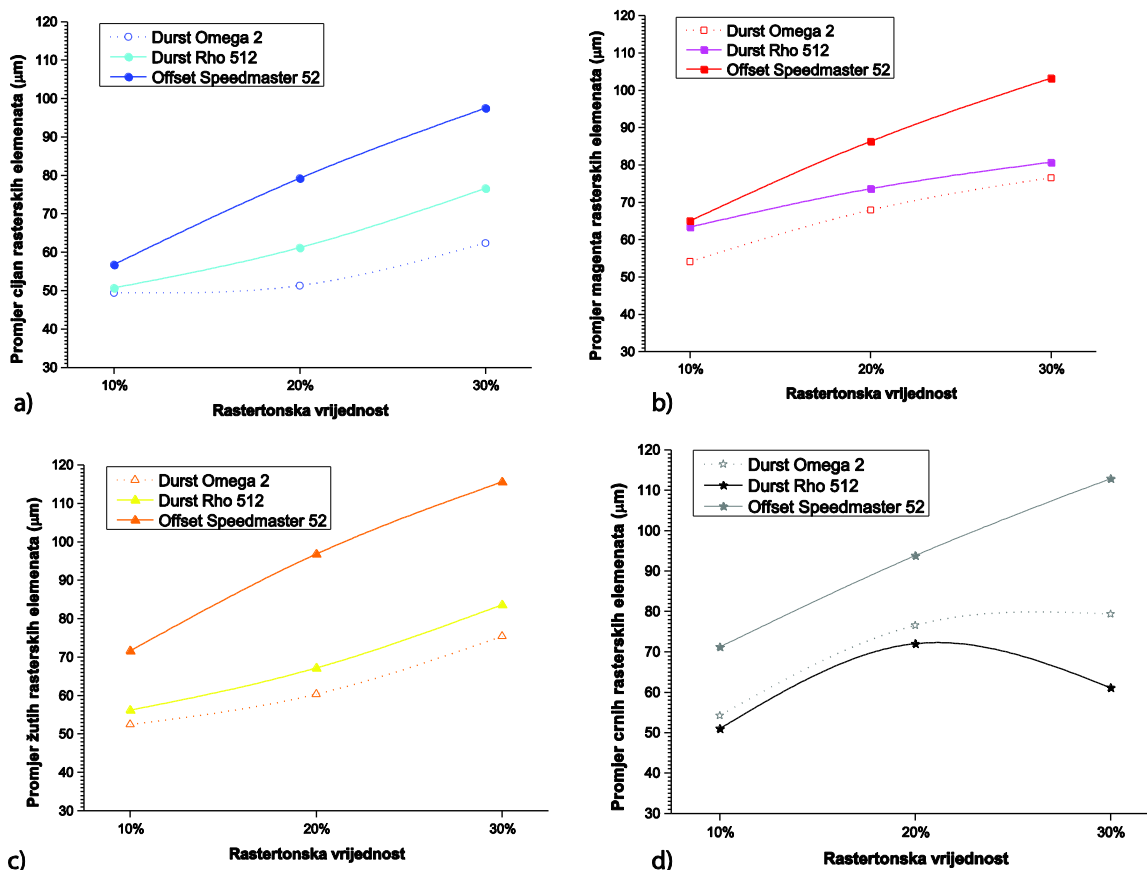
4.2. Promjer rasterskih elemenata

Kod amplitudnog rastera s povećanjem površinske pokrivenosti povećava se veličina okruglih rasterskih elemenata. Da bi se precizno odredila veličina rasterskih elemenata površinska pokrivenost mora biti mala. Zbog toga su analizirana RTV područja od 10, 20 i 30% RTV. Zbog njihove lakše uočljivosti uključen je prag od 60%. Na slici 27 prikazane su krivulje prosječnih veličina promjera elemenata u ovisnosti o RTV-u.

Tiskarski stroj Durst Omega 2 ostvaruje najmanji promjer rasterskih elemenata u svim kolornim separacijama. Izuzetak je crna, gdje to ostvaruje Durst Rho 512. Najmanji promjer rasterskog elementa će se ostvariti na Durst Omega 2 na 10% RTV-a što iznosi $d_{\text{Omega}_{10\% \text{ RTV}}} = 49,47 \mu\text{m}$.

Offset Speedmaster 52 u svim separacijama ima gotovo linearni rast promjera rasterskih elemenata u odnosu na rastertonsku vrijednost. Najveći promjer rasterskih elemenata postiže Offset Speedmaster 52. Najveći promjer bit će na žutom otisku u području od 30% RTV ($d_{\text{offset}_{30\% \text{ RTV}}} = 115,56 \mu\text{m}$).

Ostvarene razlike u promjeru elemenata veće su između Offset Speedmastera 52 i Durst Omega 2, nego između Offset Speedmastera 52 i Durst Rho 512. Na 10% RTV-a devijacije između ofseta i Omega 2 kreću se između $\Delta d_{\text{min}} = 7,31 \mu\text{m}$ (za cijan) i $\Delta d_{\text{max}} = 19,41 \mu\text{m}$ (za žutu boju). Devijacije između ofsetnog otiska i Rho 512 otiska iznose $\Delta d_{\text{min}} = 1,63 \mu\text{m}$ (za žutu boju) i $\Delta d_{\text{max}} = 20,23 \mu\text{m}$ (za crnu boju).



Slika 27. Krivulje promjera rasterskih elemenata na 10% RTV-a, 20% RTV-a i 30% RTV-a u a) cijan, b) magenta, c) žutoj i d) crnoj kolornoj separaciji

Kod modela Durst Rho 512 promjer otisnutih crnih rasterskih elemenata se naglo povećava. U jednom momentu su pri mjerenju na 30% RTV-a promijenjene postavke mjerenja i prag tolerancije je povećan sa 60% na 70%. Nakon toga uređaj je bio u mogućnosti bolje razaznati rasterske elemente.

Pri većim RTV-ovima veća je razlika između promjera rasterskih elemenata Durstovih modela i Offset Speedmastera 52. Offset Speedmaster 52 ipak ostvaruje veći rast promjera rasterskih elemenata. Najveći rast promjera je u žutoj boji gdje je razlika između promjera rasterskog elementa $\Delta d_{10-30\%RTV} = 43,97 \mu m$, a najmanju ostvaruju u magenta boji $\Delta d_{10-30\%RTV} = 38,21 \mu m$.

Između Omega 2 i Rho 512 najmanje razlike su vidljive u magenta kolornoj separaciji, a najveće u žutoj kolornoj separaciji. Devijacije između ofseta i Omega 2 na 20% rastertonske vrijednosti kreću se između $\Delta d_{\text{Ofset-Omega}} = 18,43 \mu m$ (za magentu) i $\Delta d_{\text{Ofset-}}$

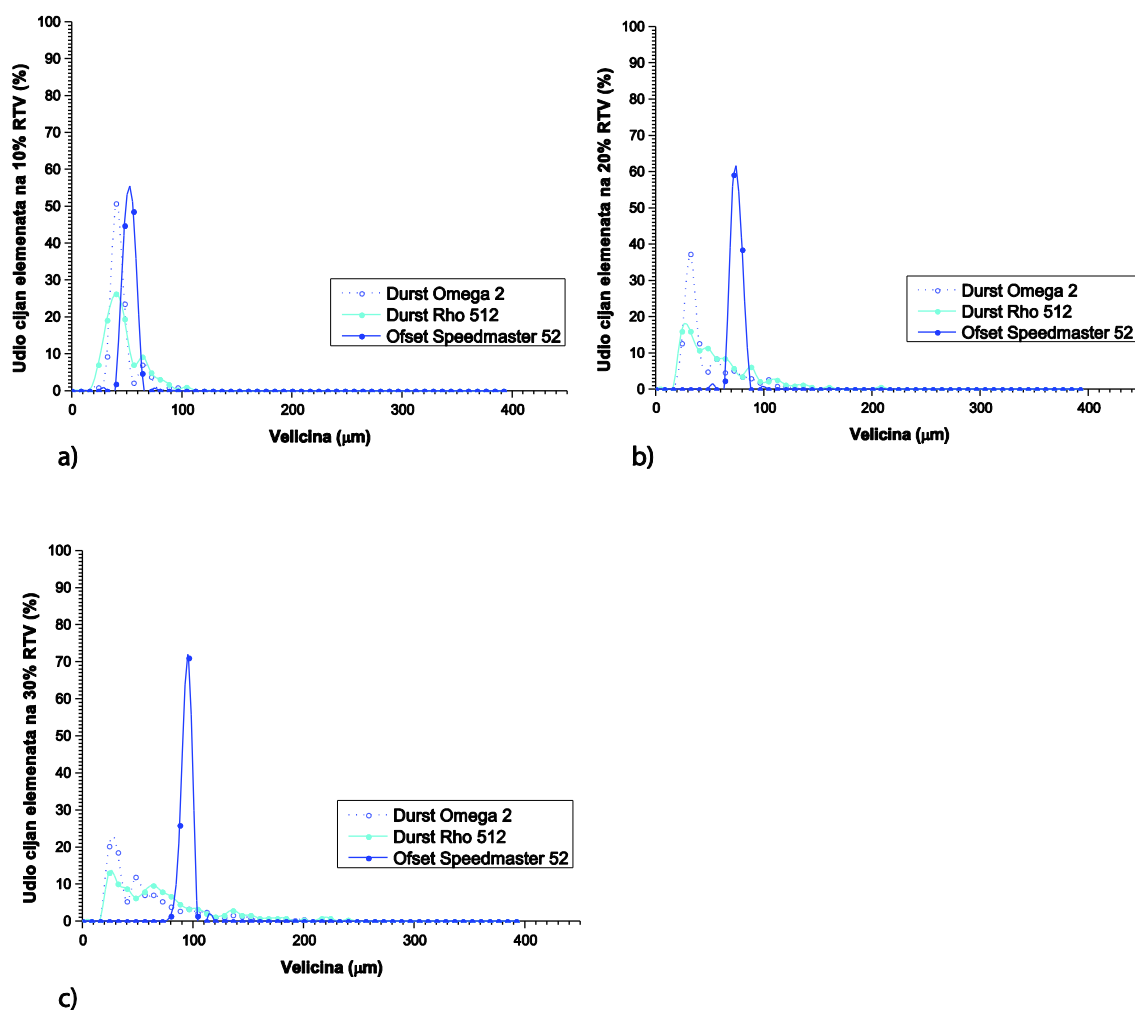
$\Omega_{\text{Omega}} = 36,44 \text{ }\mu\text{m}$ (za žutu kolornu separaciju). Veće devijacije pokazuju se na 30% rastertonske vrijednosti. One se kreću između $\Delta d_{\text{Offset-Omega}} = 26,66 \text{ }\mu\text{m}$ (za magenta) i $\Delta d_{\text{Offset-Omega}} = 40,18 \text{ }\mu\text{m}$ (za žutu kolornu separaciju).

Rho 512 pokazuje manje devijacije. U odnosu na ofset područje od 20% RTV-a ima najmanju devijaciju. Ona u magenta kolornoj separaciji iznosi $\Delta d_{\text{offset-Rho}} = 12,7$, dok je najveća u žutoj kolornoj separaciji $\Delta d_{\text{offset-Rho}} = 29,66$. Na području od 30% RTV-a devijacije se kreću između $\Delta d_{\text{offset-Rho}} = 26,66$ za magentu i $\Delta d_{\text{offset-Rho}} = 40,18$ za žutu boju.

Durst Omega 2 reproducira najveće elemente. U crnoj boji njihov promjer iznosi $d_{30\% \text{ RTV}} = 79,34 \text{ }\mu\text{m}$, dok Durst Rho 512 na istoj površini daje najveće elemente u žutoj boji ($d_{30\% \text{ RTV}} = 83,62 \text{ }\mu\text{m}$). Na 10% i 20% RTV-a Rho 512 postiže najveće elemente. U magenta separaciji to iznosi $d_{10\% \text{ RTV}} = 63,39 \text{ }\mu\text{m}$ i $d_{20\% \text{ RTV}} = 73,63 \text{ }\mu\text{m}$. Najmanje elemente oba modela daju u cijan separaciji. Za Durst Omega 2 na 10% RTV promjer iznosi $d_{10\% \text{ RTV}} = 49,47 \text{ }\mu\text{m}$, a za Durst Rho 512 $d_{10\% \text{ RTV}} = 50,71 \text{ }\mu\text{m}$.

4.3. Distribucija rasterskih elemenata

Različiti načini rastriranja imajuće za posljedicu formiranje različitih oblika i distribuciju tiskovnih elemenata. Pritom će amplitudni raster mijenjati veličine, a frekventni modulirati poziciju elemenata. Na slici 28. prikazana je distribucija cijan otisnutih elemenata na 10%, 20% i 30% RTV-a.



Slika 28. Raspodjela cijan rasterskih elemenata na a) 10% RTV, b) 20% RTV, c) 30% RTV

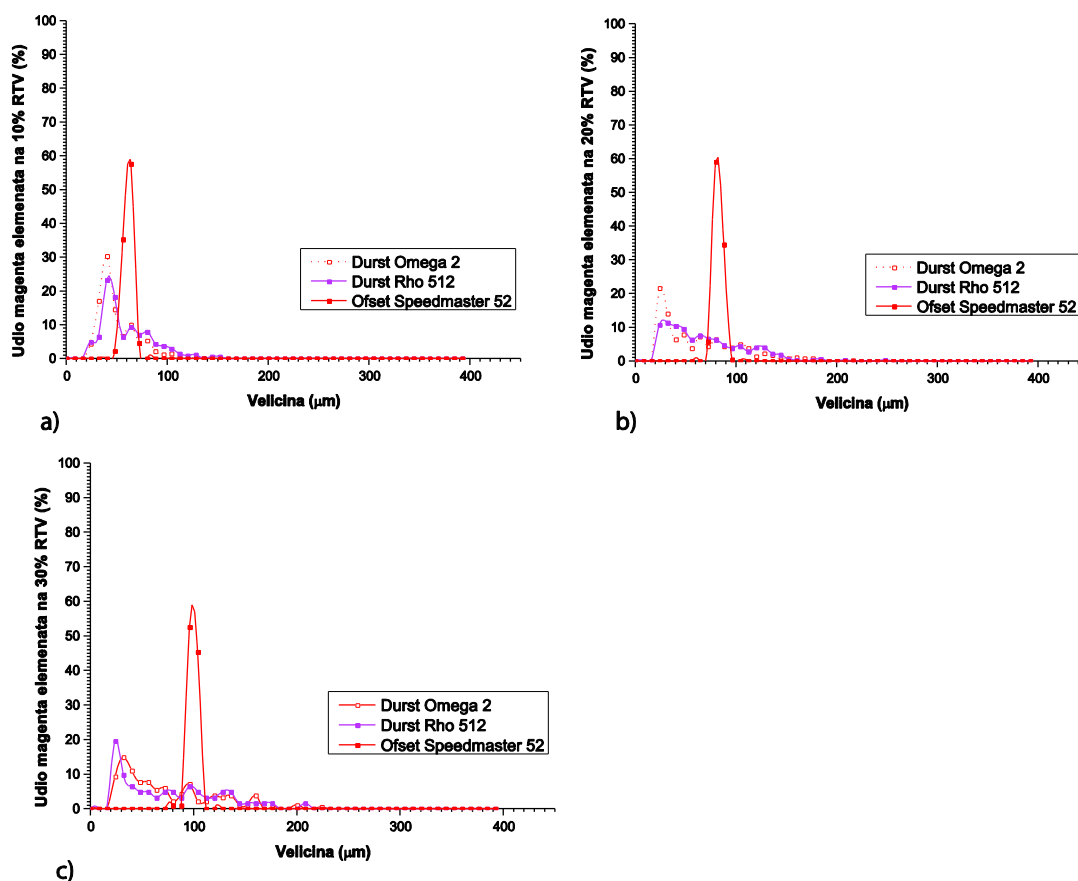
U području 10% RTV-a cijan ofsetnog otiska imat će tiskovne elemente veličine od 45 do 50 μm. Povećanjem RTV-a se povećava i veličina rasterskih elemenata. Tako je u području od 20% RTV-a raspon veličina od $d = 70 \mu\text{m}$ do $d = 80 \mu\text{m}$, dok je na području od 30% RTV-a više od 90% elemenata u rasponu od $d_{30\% \text{ RTV}} = 88 \mu\text{m}$ do $d_{30\% \text{ RTV}} = 96 \mu\text{m}$. Ofset otisci pri svim RTV-ima imaju najmanje devijacije u veličini rasterskih elemenata, te se one grupiraju oko jedne dominantne vrijednosti. Promjer rasterskih elemenata izračunat je na bazi 208 elemenata (20% RTV).

Kod modela Durst Omega 2 rasterski elementi raspoređeni su u više različitih veličina (FM rastriranje), a njihov promjer izračunat je na bazi 423 rasterska elementa (na 20% RTV). Za printer Durst Omega 2 unutar 10% RTV-a može se reći da je više od 70% elemenata veličine u području od $d_{10\% \text{ RTV}} = 40 \mu\text{m}$ do $d_{10\% \text{ RTV}} = 48 \mu\text{m}$. Na 20% RTV

elementi se kreću od $d_{20\% \text{ RTV}} = 24 \mu\text{m}$ do $d_{20\% \text{ RTV}} = 104 \mu\text{m}$, a na 30% RTV $d_{30\% \text{ RTV}} = 24 \mu\text{m}$ do $d_{30\% \text{ RTV}} = 144 \mu\text{m}$. To znači s povećanjem RTV-a za očekivati je veći broj različito velikih rasterskih elemenata čiji je oblik spajanjem poprimio nepravilne oblike. Povećanjem RTV-a elementi se povećavaju, ali i imaju veće varijacije u veličinama.

Model Durst Rho ne pokazuje tolike varijacije u veličinama rasterskih elemenata. U području od 10 % RTV-a oni su u rasponu od $d_{10\% \text{ RTV}} = 40 \mu\text{m}$ do $d_{10\% \text{ RTV}} = 56 \mu\text{m}$. Porastom RTV-a devijacije će se povećati. Na 20% RTV-a od $d_{20\% \text{ RTV}} = 64 \mu\text{m}$ do $d_{20\% \text{ RTV}} = 80 \mu\text{m}$, a na 30% RTV-a od $d_{30\% \text{ RTV}} = 80 \mu\text{m}$ do $d_{30\% \text{ RTV}} = 104 \mu\text{m}$. Za analizu je obrađeno 304 rasterskih elemenata (na 20% RTV).

Na slici 29 prikazana je distribucija magenta otisnutih elemenata na 10%, 20% i 30% RTV-a.



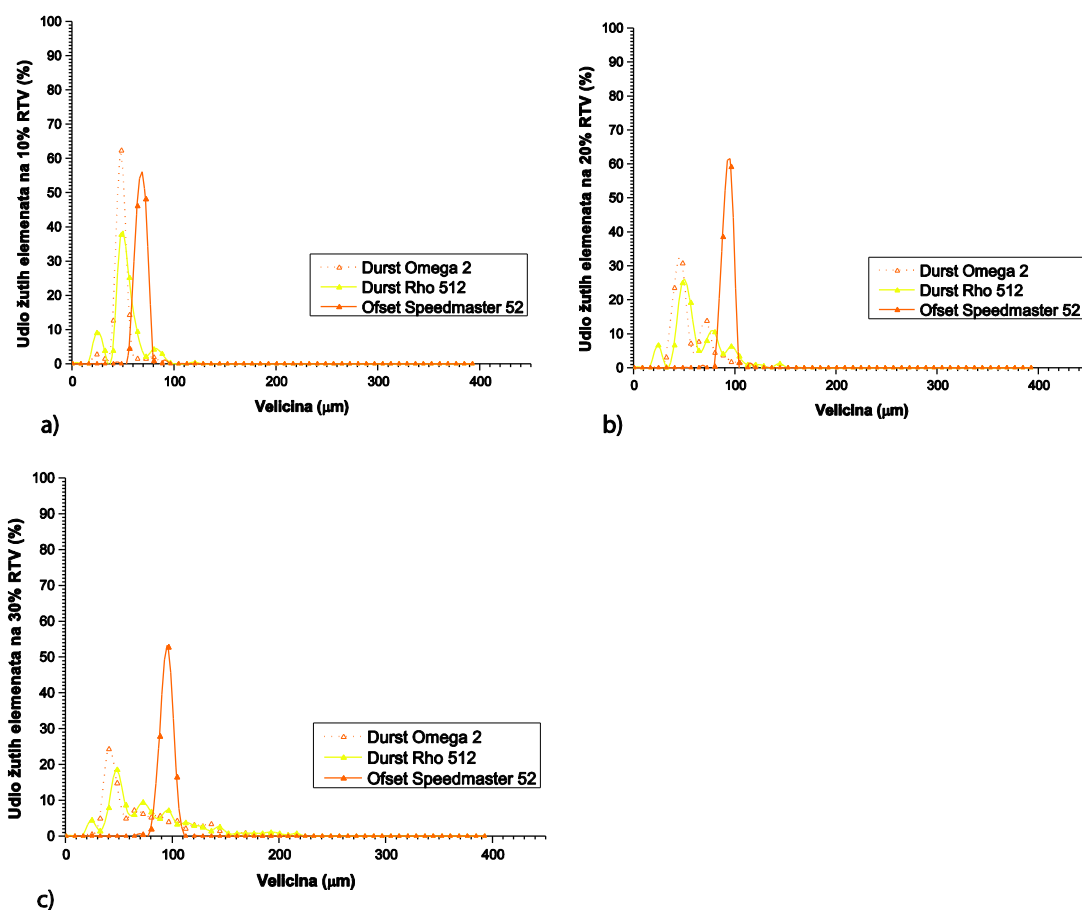
Slika 29. Raspodjela magenta rasterskih elemenata na a) 10% RTV-a, b) 20% RTV-a, c) 30% RTV-a

Ofsetni magenta otisci također pokazuju malu devijaciju u reprodukciji tiskovnih elemenata. Broj obrađenih rasterskih elemenata na 20% RTV-a iznosi 208. Na području od 10% RTV-a devijacija u veličini iznosi $\Delta d_{10\% \text{ RTV}} = 8 \mu\text{m}$, za 20% RTV $\Delta d_{20\% \text{ RTV}} = 8 \mu\text{m}$, za 30 % RTV $\Delta d_{30\% \text{ RTV}} = 8 \mu\text{m}$. Magenta rasterski elementi su u svim RTV područjima veći od cijan rasterskih elemenata.

Za Durst Omega 2 printer vrijedi da elementi poprimaju više različitih veličina. Na području od 10% RTV-a najveći pik označava da je 30% otisnutih elemenata veličine $d_{10\% \text{ RTV_min}} = 40 \mu\text{m}$, dok su najveći elementi promjera $d_{10\% \text{ RTV_max}} = 144 \mu\text{m}$. Na 20% RTV-a obrađeno je 315 rasterskih elementi koji su raspoređeni na većem rasponu čije je odstupanje $\Delta d_{20\% \text{ RTV}} = 150 \mu\text{m}$. Dok će na 30% RTV-a magenta elementi dostići veličinu promjera $d_{30\% \text{ RTV}} = 224 \mu\text{m}$.

Magenta otisci otisnuti na Durst Rho 512 printeru će na 10% RTV-a imati trend kretanja veličine promjera rasterskih elemenata veoma slične Durst Omegi 2 (od $d_{10\% \text{ RTV_min}} = 25 \mu\text{m}$ do $d_{10\% \text{ RTV_max}} = 152 \mu\text{m}$) s najviše elemenata veličine $40 \mu\text{m}$. Na 20% RTV-a ne može se odrediti veći pik pa je veličina elemenata ujednačena i kreće se od $d_{20\% \text{ RTV_min}} = 24 \mu\text{m}$ do $d_{20\% \text{ RTV_max}} = 184 \mu\text{m}$. Međutim, na 30% RTV-a moguće je uočiti veći broj rasterskih elemenata što govori da se 30% elemenata nalazi na području od $d_{30\% \text{ RTV}} = 24 \mu\text{m}$ do $d_{30\% \text{ RTV}} = 32 \mu\text{m}$. Analiza je bazirana na 315 rasterskih elemenata (na 20% RTV).

Na slici 30 prikazana na distribucija žutih otisnutih elemenata na 10%, 20% i 30% RTV-a.



Slika 30. Raspodjela žutih rasterskih elemenata na a) 10% RTV-a, b) 20% RTV-a, c) 30% RTV-a

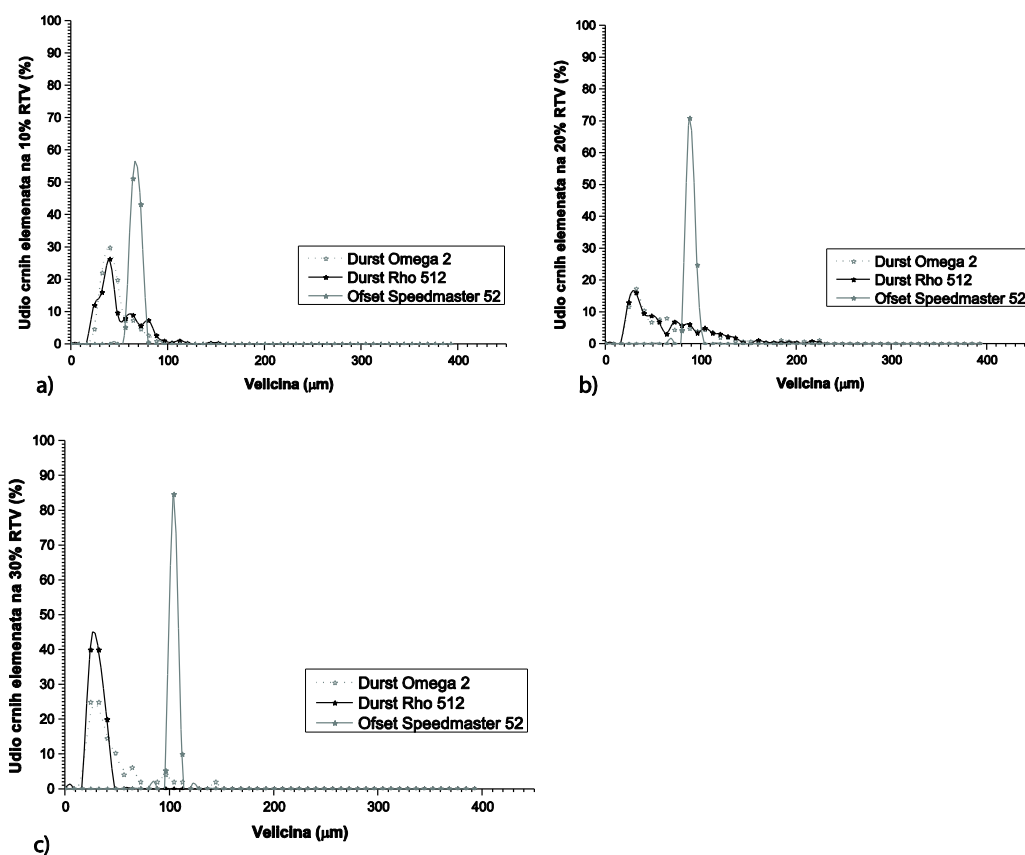
Analiza žutih ofsetnih otisaka rađena je na 194 rasterska elementa (na 20% RTV-a). Na 10% RTV-a ofsetni žuti otisci imaju gotovo sve elemente (više od 90%) veličina u rasponu od $d_{10\% RTV} = 64 \mu m$ do $72 \mu m$. Porastom RTV-a (na 20%) veličine elemenata će se kretati u rasponu od $d_{20\% RTV} = 88 \mu m$ do $96 \mu m$, a na 30% RTV-a od $d_{30\% RTV} = 88 \mu m$ do $d = 104 \mu m$.

Kod Durst Omega 2 na 10% RTV-a najveći broj elemenata (62%) je veličine od $d_{10\% RTV} = 48 \mu m$. Na 20% RTV-a za Durst Omegu 2 moguće je definirati dva pika koja označavaju da je 24% elemenata veličine $d_{20\% RTV} = 40 \mu m$ i 31% veličine $d_{20\% RTV} = 48 \mu m$. Pri RTV-u od 30% najveći pik je kod elemenata veličine $d_{30\% RTV} = 40 \mu m$. Broj analiziranih rasterskih elemenata na 20% RTV-a iznosi 372.

Kod stroja Durst Rho 512 na 10% RTV-a moguće je odrediti dva pika koji pokazuju da postoji 38% elemenata veličine $d_{10\% RTV} = 48 \mu m$ i 25% elemenata veličine $d_{10\% RTV} =$

56 μm . Povećanjem RTV-a na grafu se pojavljuju četiri pika što znači da je na 20% RTV-a najviše elemenata u rasponu od $d_{20\% \text{ RTV}} = 48 \mu\text{m}$ do $d_{20\% \text{ RTV}} = 80 \mu\text{m}$. Na 30% RTV-a najviše elemenata je veličine $d_{30\% \text{ RTV}} = 48 \mu\text{m}$. Prilikom analize obrađeno je 311 rasterskih elemenata (na 20% RTV-a).

Na slici 31 prikazana na distribucija crnih otisnutih elemenata na 10%, 20% i 30% RTV-a.



Slika 31. Raspodjela crnih rasterskih elemenata na a) 10% RTV-a, b) 20% RTV-a, c) 30% RTV-a

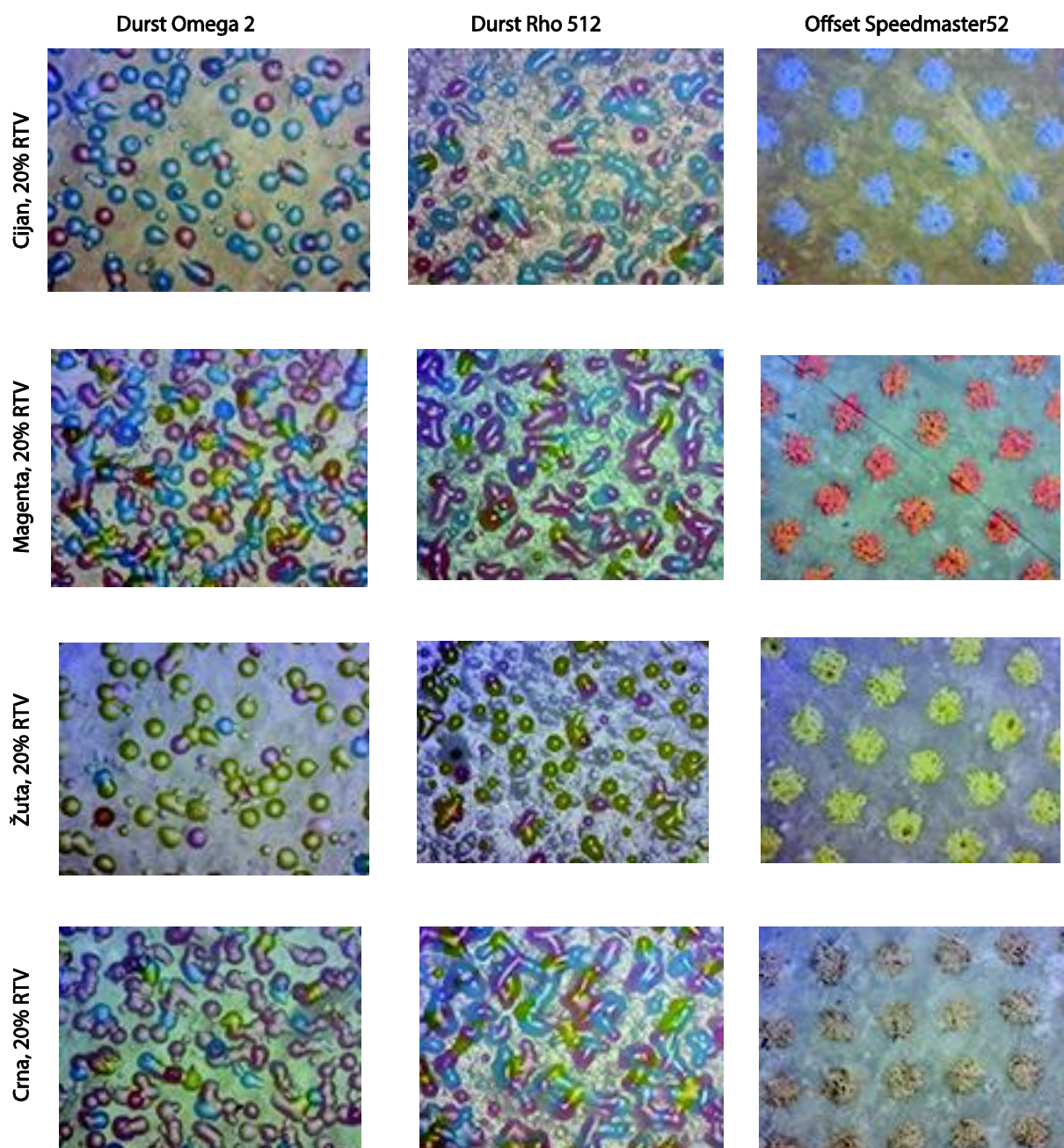
Kod crne kolorne separacije na 10% rastertonske vrijednosti svi rasterski elementi ofsetnog otiska su veličine od $d_{10\% \text{ RTV}} = 64 \mu\text{m}$ do $43 \mu\text{m}$. Povećanjem RTV-a, veći su i elementi pa su na 20% rastertonske vrijednosti elementi veličine u rasponu od $d_{20\% \text{ RTV}} = 80 \mu\text{m}$ do $d = 96 \mu\text{m}$. Na 20% RTV-a obrađeno je 210 rasterskih elemenata. Na 30% RTV-a svi elementi veličine $d_{30\% \text{ RTV}} = 104 \mu\text{m}$ i $d = 112 \mu\text{m}$.

Na 10% RTV-a gotovo svi rasterski elementi Durstovih modela nalaze se između $d_{10\% \text{ RTV}} = 24 \mu\text{m}$ i $d_{10\% \text{ RTV}} = 48 \mu\text{m}$ i oba modela imaju gotovo istu raspodjelu elemenata.

Također, na 20% RTV-a raspodjela elemenata oba Durstova modela gotovo je identična te su elementi u gotovo jednakom postotku veličina (od $d_{20\% \text{ RTV}} = 48 \mu\text{m}$ do $d = 112 \mu\text{m}$). Na 30% RTV-a Durst Rho 512 ima veći pik od Omega 2 koji pokazuje da je 80% elemenata na području od $d_{30\% \text{ RTV}} = 24 \mu\text{m}$ do $d_{30\% \text{ RTV}} = 32 \mu\text{m}$, dok se na istom području nalazi 50% elemenata Durst Omega 2. Obradeno je 262 rasterska elementa na otisku Rho 512 stroja i 233 rasterska elementa na otisku Omega 2 stroja.

4.4. Cirkularnost rasterskih elemenata

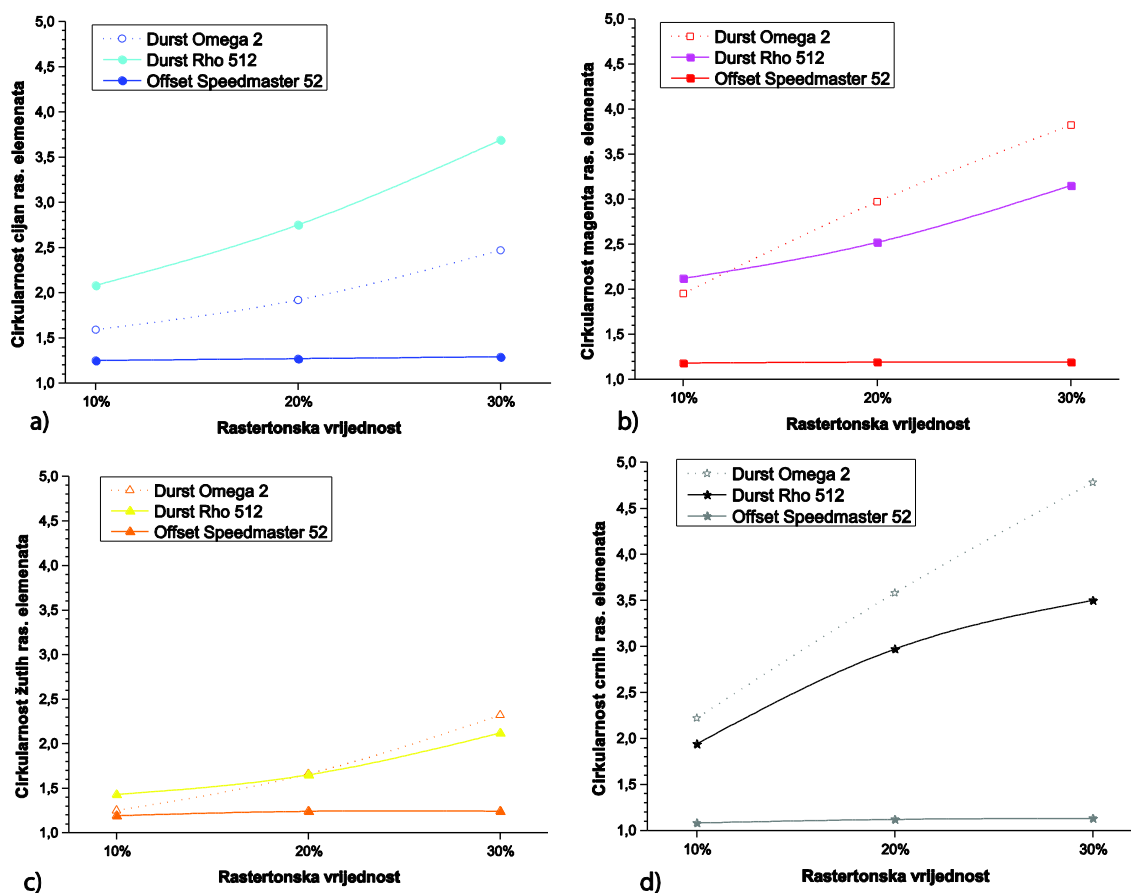
Za ostvarivanje točne RTV vrijednosti presudna je točna reprodukcija oblika rasterskih elemenata. Kod točkastog rastera idealni reprodukcijski oblik je krug. Mjerenjem cirkularnosti (okruglosti) direktno se dovodi u korelaciju s kvalitetom rasterskog otiskivanja. Pritom će veća cirkularnost značiti lošiju reprodukciju elementa. Za analizu cirkularnosti rasterskih elemenata, osim mjerenja Personal IAS-om, korištena je i vizualna analiza rasterskih elemenata na 20% RTV-a cijan, magente, žute i crne kolorne separacije na sva tri ispitivana stroja pod povećanjem od 250 puta. Na slici 32. prikazane su 250x uvećane slike otisaka s pokrivenošću od 20% RTV. -a



Slika 32. 250x uvećane slike otisaka sa pokrivenošću od 20% RTV

Vidljivo da ofsetni otisak u svim bojama postiže najpravičniji oblik rasterskog elementa. Modeli Omega 2 i Rho 512 najpravičnije elemente pokazuju u cijan i žutoj boji, dok kod magenta i crne boje dolazi do većih spajanja rasterskih elemenata i time promjene oblika rasterske točkice. Ipak, vidljivo je da kod stroj Omega 2 ima manje spajanja rasterskih elemenata u odnosu na model Rho 512.

Za razliku od vizualne procjene cirkularnost je bolje analizirati metodom slikovne analize. Na slici 33 prikazane su krivulje cirkularnosti rasterskih elemenata na 10% RTV-a, 20% RTV-a i 30% RTV-a za cijan, magenta, žutu i crnu kolornu separaciju.



Slika 33. Krivulje cirkularnosti rasterskih elemenata na 10% RTV-a, 20% RTV-a i 30% RTV-a u a) cijan, b) magenta, c) žutoj i d) crnoj kolornoj separaciji

Ofsetni otisci koji su uvećani i mjereni Personal IAS-om pokazuju da se postiže gotovo idealna cirkularnost rasterskih elemenata. Ona je najbliža idealnoj ($c = 1$) u svim kolornim separacijama i ostvaruje najmanje oscilacije u svim analiziranim RTV vrijednostima (10%, 20%, 30% RTV). Pritom su najveće oscilacije u crnoj i žutoj separaciji ($\Delta c = 0,5$), a najmanje u magenta kolornoj separaciji ($\Delta c = 0,1$).

Durstovi modeli pokazuju elemente različitih veličina koji su vidljivi u svim kolornim separacijama. Jedini izuzetak je žuta. Osim toga kod Durst Omega 2, u cijan koloroj

separaciji, moguće je primijetiti da su rasterski elementi odijeljeni te nemaju zajedničkih konekcija s modelom Rho 512.

Tako će najveća odstupanja u cirkularnosti biti u području od 10% RTV-a pokazuje Durst Rho 512 ($\Delta c_{10\%} = 0,94$ u magenti), dok će se u području od 20% i 30% RTV-a veća odstupanja ostvariti kod Durst Omega 2. Najveću cirkularnost pokazali su se crni rasterski elementi stroja Durst Omega 2 pri 30% RTV-a koji iznose $c_{30\% \text{ RTV}} = 4,78$.

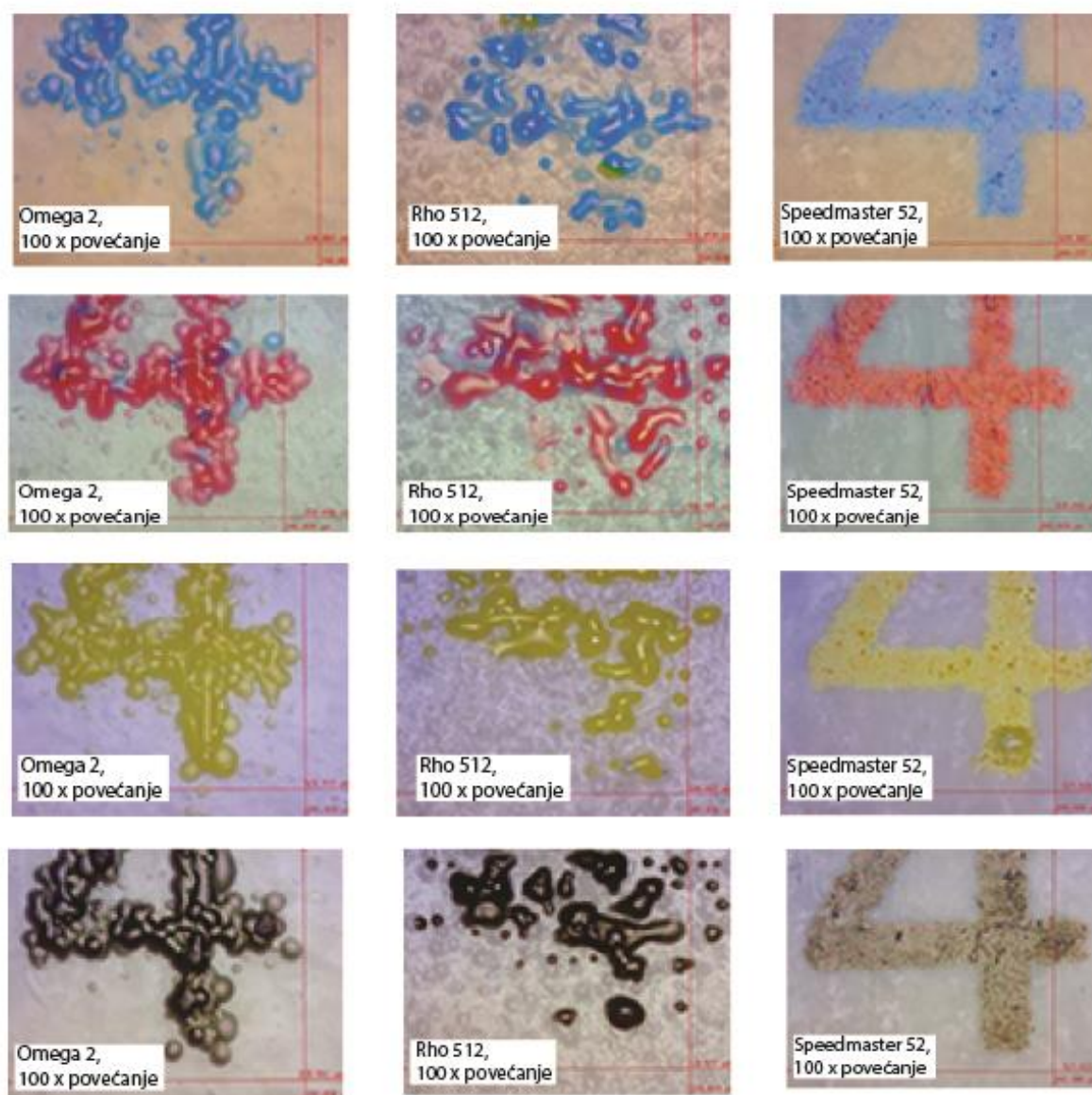
Najsličnije vrijednosti cirkularnosti imaju strojevi Durst Omega 2 i Durst Rho 512. U žutoj separaciji na područjima od 20% RTV-a cirkularnost je gotovo ista $c_{\text{Omega}} = 1,66$ i $c_{\text{Rho512}} = 1,65$. Najveća oscilacija u cirkularnosti postoji između 10% i 30% RTV i ona je vidljiva kod Durst Omega 2. U crnoj separaciji ona iznosi $\Delta c_{10-30\%} = 2,56$.

Između dva Durstova modela primjećuje se da u žutoj separaciji pri svim RTV-ovima imaju slične vrijednosti cirkularnosti i njihova razlika iznosi samo $\Delta c_{\text{Omega-Rho}_{10\% \text{ RTV}}} = 0,18$, $\Delta c_{\text{Omega-Rho}_{20\% \text{ RTV}}} = 0,1$ i $\Delta c_{\text{Omega-Rho}_{30\% \text{ RTV}}} = 0,20$. Najveće razlike pokazuju u cijan otisci gdje Durst Omega 2 u svim RTV-ovima pokazuje rezultate bliže idealnoj cirkularnosti rasterskih elemenata. Devijacija između Durst Omega 2 i Durst Rho 512 modela kod cijan rasterskih elemenata iznose minimalno $\Delta c_{\text{Omega-Rho}_{10\% \text{ RTV}}} = 0,49$ i povećavaju se na $\Delta c_{\text{Omega-Rho}_{20\% \text{ RTV}}} = 0,83$ i $\Delta c_{\text{Omega-Rho}_{30\% \text{ RTV}}} = 1,22$. Pri 10% RTV Durst Omega 2 cijan, magenta i žuti otisci pokazuju bolje rezultate od Durst Rho 512. Međutim, to nije slučaj i kod crne separacije.

U odnosu na Durst Rho 512, u gotovo svim kolornim separacijama (izuzev cijan), Durst Omega 2 će pri 20% i 30% RTV-a imati vrijednosti cirkularnosti rasterskih elemenata lošije od idealne. Najveća razlika je u crnoj kolornoj separaciji i iznosi $\Delta c_{\text{Rho-Omega}_{30\% \text{ RTV}}} = 1,28$. Najmanja razlika je u žutoj kolornoj separaciji i iznosi $\Delta c_{\text{Rho-Omega}_{20\% \text{ RTV}}} = 0,1$. Svjetlije RTV (10% RTV) otisnute s Durst Omega 2 printerom će imati vrijednosti cirkularnosti rasterskih elemenata bliže idealnoj. Pritom je najmanja razlika u žutoj boji i $\Delta c_{\text{Rho-Omega}_{10\% \text{ RTV}}} = 0,18$, a najveća u cijan boji i $\Delta c_{\text{Rho-Omega}_{10\% \text{ RTV}}} = 0,49$.

4.5. Kvaliteta reprodukcije linije kod fonta od 4 pt

Osim okruglih rasterskih elemenata pri otiskivanju se često reproduciraju i mikro linije. One mogu biti samostalne ili integrirane unutar fonta. Detaljnijom analizom reproduciranih linija moguće je izvršiti uređajem Personal IAS. Rezultati profila odabranih vertikalnih linija prikazan je na slici 34 (dio brojke 4 u veličini od 4 pt).

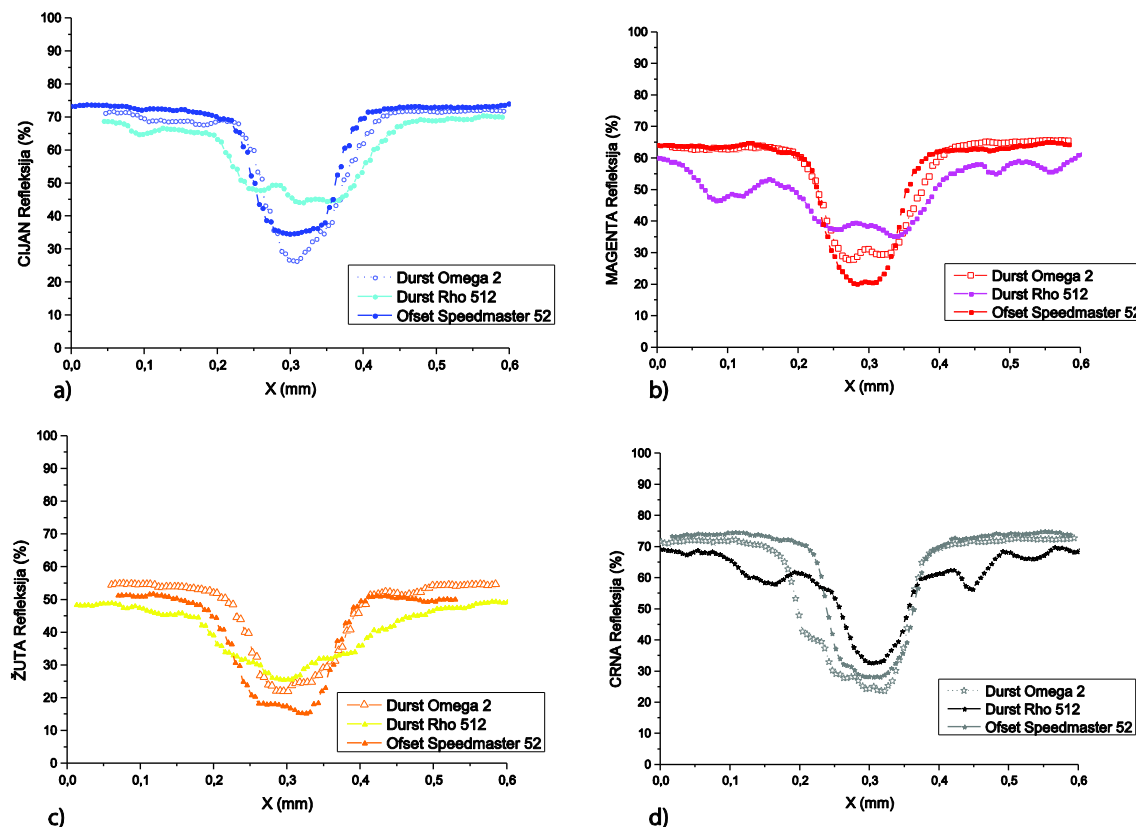


Slika 34. Mikroskopska slika elementa od 4 pt pod povećanjem od 100 puta

Vizualnom analizom jasno je vidljivo da su otisci najoštrijih rubova postignuti na Offset Speedmasteru 52. Što se tiče Durstovih modela vidljivo je da Omega 2 daje oštrije otiske

od Rho 512 gdje se uočava pojava većeg broja „satelitskih“ kapljica. Vidljivo je također da Durst Rho 512 ima najveću širinu linije, a Offset Speedmaster 52 najužu.

Na slici 35. prikazan je grafikon koji analizira kvalitetu linijskog dijela fonta (vertikalna linija). Kvalitetu linije tako predstavljaju dva parametra: debljina linije i vršna refleksija s otisnute linije. Pritom će niske vrijednosti definirati bolju reprodukciju fonta i linije.



Slika 35. Krivulje distribucije vertikalnog reza linije veličine 4 pt: a) cijan, b) magenta, c) žuta, d) crna

Cijan otisci Durst Rho 512 ne pokazuje pravilnu krivulju distribucije rasterske točkice te ima dva refleksijska vrha. U odnosu na ofsetni otisak vršna devijacija iznosi $\Delta R_{\text{ofset-Rho512}} = 18,54\%$, dok će vršna devijacija Omega 2 u odnosu na ofset iznositi $\Delta R_{\text{ofset-Omega}} = 8,36\%$. Omega 2 ima najužu reproduciranu debljinu linije $l_{\text{Omega}} = 102,29 \mu\text{m}$ te pokazuje najkontrastniji otisak. Pritom će devijacija reflektancije linija iznositi $\Delta R = 44,78\%$. U odnosu na Omega, ofsetni otisak ostvaruje vršnu linijsku devijaciju reflektacije od $\Delta R =$

37,92%, a Durst Rho 512 $\Delta R = 25\%$. Samim time Durst Rho reproducira najširu liniju od $l_{\text{Rho 512}} = 171,81 \mu\text{m}$.

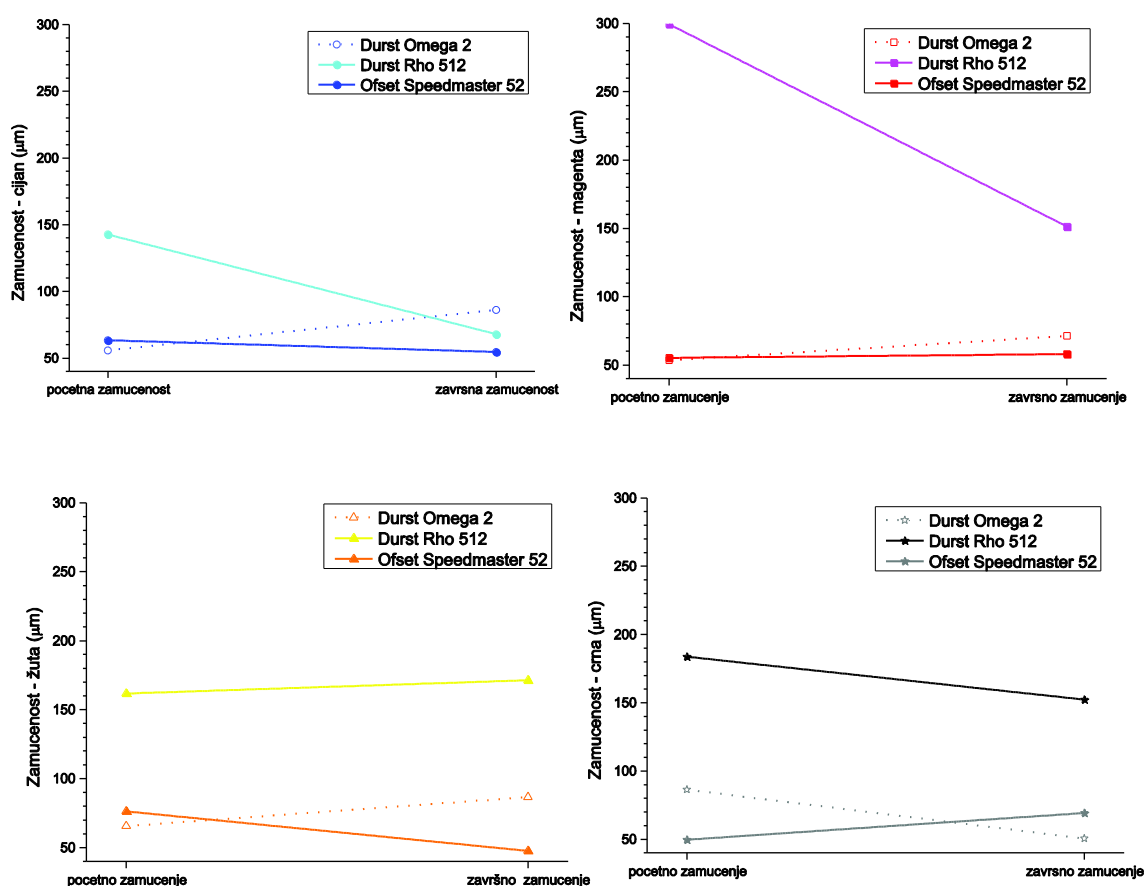
Kod magente, primjećuje se da samo ofset pokazuje pravilu reprodukciju krivulje s jednim vrhom. Pritom će vršna reflektancija iznositi 20,8% što ujedno pokazuje i najužu liniju od $l_{\text{Offset}} = 104,27 \mu\text{m}$. Devijacije u širini reproducirane linije između Speedmastera 52 i Omega 2 iznosi $\Delta l_{\text{Offset-Omega}} = 16,83 \mu\text{m}$, dok je linija Rho 512 veća za 67,25 μm šira od ofseta. Durst Rho 512 i Omega 2 pokazuju po dva vrha na krivulji, a njihovi najtamniji otisci imaju veću refleksiju od Speedmastera 51 za $R = 14,52\%$ odnosno $R = 8,21\%$.

Sva tri stroja imaju pravilnu krivulju distribucije žutih rasterskih točkica (s jednim vrhom) i najmanjom devijacijom u odnosu na ostale kolorne separacije). Krivulja Durst Omega 2 slijedi krivulju Offset Speedmastera 52 s manjim devijacijama koje u najtamnijim tonovima iznose $R = 6,62\%$. Devijacija u širini linije je također mala te ofset pokazuje užu liniju za svega $\Delta l_{\text{Omega-Offset}} = 0,06 \mu\text{m}$. Najširu liniju, kao i u svim kolornim separacijama ima Rho 512. Ona je šira od linije ofseta za $\Delta l_{\text{Rho 512-Offset}} = 18,52 \mu\text{m}$. Rho 512 pokazuje i najmanju devijaciju između najtamnije i najsvjetlije točke ($\Delta R = 23,26\%$) što je za $\Delta R_{\text{Rho 512-Offset}} = 12,82\%$ manje u odnosu na Offset Speedmaster 52 i $\Delta R_{\text{Rho 512-Omega}} = 9,53\%$ manje u odnosu na Omega 2.

Najtamnije točke u crnoj kolornoj separaciji pokazuje Omega 2. Njihova refleksija iznosi $R_{\text{Omega}} = 23,56\%$. U crnoj kolornoj separaciji svi strojevi imaju pravilnu krivulju s jednim vrhom. Taj vrh je za Durst Rho 512 iznosi $R = 32,7\%$, a za Offset Speedmaster $R = 28,22\%$. Samim time između njih ostvarene su devijacije $\Delta R_{\text{Rho 512-Omega}} = 4,66\%$ u odnosu na $\Delta R_{\text{Rho 512-Offset}} = 4,48\%$. Najširu reproduciranu liniju ima Omega 2 $l_{\text{Omega 2}} = 150,07 \mu\text{m}$. Ona je za $\Delta l_{\text{Omega-Offset}} = 30,43 \mu\text{m}$ šira od linije ofseta. Najužu liniju ima Durst Rho 512. Te je uža od Speedmastera 52 za $\Delta l_{\text{Rho 512-Offset}} = 24,26 \mu\text{m}$. Može se zaključiti da u svim kolornim separacijama, osim u crnoj, Durst Omega 2 ima kraću i kontrastniju liniju od Durst Rho 512.

4.6. Zamućenje linije

Skenirajuće kretanje glave ima za posljedicu različitu distribuciju kapljice koje pri realizaciji linija mogu rezultirati različitim zamućenjem. Na slici 36 prikazane su krivulje početne i završne zamućenosti otisaka za cijan, magenta, žutu i crnu kolornu separaciju.



Slika 36. Krivulje početne i završne zamućenosti otiska u a) cijan, b) magenta, c) žutoj i d) crnoj kolornoj separaciji

U cijan separaciji najveće devijacije između početnog i završnog zamućenja pokazuje Durst Rho 512. Otisci ofsetnog stroja Speedmaster imaju manju vrijednost završnog zamućenja u odnosu na početno, što nije slučaj kod modela Durst Omega 2. Kod početnog zamućenja primjećuje se da Durst Omega 2 i Offset Speedmaster 52 imaju slične vrijednosti (u završnom dijelu linije vrijednost zamućenja Omega 2 raste za 30,43 µm, dok za Offset Speedmaster 52 pada za 8,8 µm).

Najveće vrijednosti početnog i završnog zamućenja, u magenta kolornoj separaciji, ima Durst Rho 512 ($b_{\text{početno}} = 299,36$ i $b_{\text{završno}} = 151,37$). Samim time ima najveću devijaciju između početnog i završnog zamućenja koja iznosi $\Delta b_{\text{početno-završno}} = 147,99 \mu\text{m}$. Najmanju devijaciju ima Offset Speedmaster 52 koja iznosi svega $\Delta b_{\text{početno-završno}} = 2,76 \mu\text{m}$. Kod Durst Omega 2 završno zamućenje je veće od početnog, ali njegova devijacija iznosi više, $\Delta b_{\text{početno-završno}} = 17,82 \mu\text{m}$.

Kod ofset žutih otisaka vidljive su promjene u kretanju početnog i završnog zamućenja, pritom će završno zamućenje ovoga puta biti manje od početnog $\Delta b_{\text{početno-završno}} = 28,7 \mu\text{m}$. Oba Durstova modela u žutoj separaciji pokazuju malo povećanje završnog zamućenja u odnosu na početno. Tako će vrijednosti zamućenja Omega 2 bliže vrijednostima Offset Speedmaster 52, nego što su to vrijednosti zamućenja Rho 512.

Kod crne separacije, Durst Rho 512 postiže najviše vrijednosti zamućenja. Tako će devijacija između početnog (višeg) i završnog (manjeg) zamućenja iznosi $\Delta b_{\text{početno-završno}} = 12,39 \mu\text{m}$. Durst Omega 2 također ima za manje završno zamućenje u odnosu na početno ($\Delta b_{\text{početno-završno}} = 35,79 \mu\text{m}$). Offset Speedmaster 52 jedini pokazuje veće završno zamućenje od početnog i to za $\Delta b_{\text{početno-završno}} = 19,6 \mu\text{m}$.

5. ZAKLJUČCI

Krivulje reprodukcije pokazale su da za Durst Omega 2 i Durst Rho 512 strojeve prirast nije jednak u svim RTV-ovima. Najveći je u srednjim tonskim vrijednostima. Pri čemu Durst Omega 2 ima manji prirast u odnosu na Durst Rho 512 (u žutoj $\Delta Z_{\text{Omega} - \text{Rho}} = 4,26\%$ i crnoj boji $\Delta Z_{\text{Omega} - \text{Rho}} = 4,63\%$). Vrijednosti prirasta Omega 2 i Rho 512 u cijan i magenta kolornoj separaciji nemaju značajne razlike, cijan $\Delta Z_{\text{Omega} - \text{Rho}} = 0,84$, magenta $\Delta Z_{\text{Omega} - \text{Rho}} = 0,44$. Najmanji prirast u srednjim tonskim vrijednostima ostvaruje Omega 2 u žutoj boji i on iznosi $Z = 11,97\%$, dok najveći prirast ostvaruje Rho 512 ($Z = 22,27\%$). U svijetlim i tamnim tonskim vrijednostima prirast RTV-a je gotovo jednak. Međutim, u srednjim tonskim vrijednostima model Omega 2 pokazuje bolje rezultate u žutoj i crnoj kolornoj separaciji ($\Delta Z_{\text{crna}} = 4,64$ i $\Delta Z_{\text{žuta}} = 17,9$).

Analizom promjera rasterskih elemenata vidljivo je da tiskarski stroj Durst Omega 2 ostvaruje najmanji promjer rasterskih elemenata u svim kolornim separacijama. Izuzetak je crna, gdje to ostvaruje Durst Rho 512. Durst Omega 2 reproducira najveće elemente u crnoj boji na 30% RTV-a ($d = 79,34$), dok Durst Rho 512 najveće elemente reproducira u žutoj boji ($d = 83,62$). Najmanje elemente oba modela ostvaruju u cijan separaciji čiji promjer je $d = 49,47$ za Omega 2 i $d = 50,71$ za Rho 512. Najveće devijacije strojevi ostvaruju u žutoj kolornoj separaciji ($\Delta d_{\text{Omega-Rho}_30\% \text{ RTV}} = 40,18$), a najmanje u magenta ($\Delta d_{\text{Omega-Rho}_20\% \text{ RTV}} = 18,43$).

U svim kolornim separacijama, osim crne na 10%, 20% i 30% RTV-a, najmanje elemente generira Omega 2 čime zaključujemo da Omega 2 ima veću kvalitetu otiska u svim bojama. Najveća kvaliteta otiska kod oba stroja postiže se u cijan kolornoj separaciji gdje se ostvaruju najmanji rasterski elementi. To znači da manja glava postiže veću kvalitetu.

Distribucija rasterskih elemenata pokazuje da porastom RTV-a dolazi do povećanja veličine rasterskih elemenata (spajanjem rasterskih elemenata i većih varijacija u veličini). Za Durst Omega 2 najveće rasterske elemente daje magenta kolorna separacija ($d_{30\% \text{ RTV}} = 224 \mu\text{m}$). Najveći postotak najmanjih rasterskih elemenata $d = 24 \mu\text{m}$ je u crnoj kolornoj separaciji pri čemu to čini 25% otisnute površine. Durst Rho 512 najveće elemente postiže u cijan kolornoj separaciji. Pritom je 1% elemenata veličine $224 \mu\text{m}$. Najmanjih elementa veličine $d = 24 \mu\text{m}$ najviše je u crnoj kolornoj separaciji (40%

volumnog udjela). Rho 512 i Omega 2 najsličniji su u crnoj boji gdje imaju i najviše elemenata malih promjera, što ostvaruje najkvalitetniju reprodukciju. U crnoj boji model Rho ima bolju kvalitetu otiska (veći postotak najmanjih rasterskih elemenata). Najveće devijacije modeli pokazuju u cijan kolornoj separaciji od 10% RTV-a. U rasponu veličine od $d = 40 \mu\text{m}$ do $d = 48 \mu\text{m}$ Omega 2 ima 75% elemenata, dok Rho 512 u tom rasponu ima 46% elemenata. Time možemo zaključiti da je kvaliteta reprodukcije u cijan boji mnogo veća kod modela Omega 2.

U odnosu na Durst Rho 512 u gotovo svim kolornim separacijama (izuzev cijan) Durst Omega 2 će pri 20% i 30% RTV-a imati vrijednosti cirkularnosti rasterskih elemenata lošije od idealne. Najveća razlika je u crnoj kolornoj separaciji i iznosi $\Delta c_{\text{Rho-Omega}_{30\% \text{RTV}}} = 1,28$. Najmanja razlika je u žutoj kolornoj separaciji i iznosi $\Delta c_{\text{Rho-Omega}_{20\% \text{RTV}}} = 0,1$. Durst Omega 2 samo pri 10% RTV-a postiže bolju cirkularnost rasterskih elemenata od modela Rho 512. Pritom je najmanja razlika u žutoj boji i $\Delta c_{\text{Rho-Omega}_{10\% \text{RTV}}} = 0,18$, a najveća u cijan boji i $\Delta c_{\text{Rho-Omega}_{10\% \text{RTV}}} = 0,49$. Možemo zaključiti da će pri svjetlijim tonskim vrijednostima Omega 2 reproducirati pravilnije rasterske elemente što je najvidljivije u cijan boji. To je potvrđeno i pri slikovnoj analizi uvećanih otiska gdje kod Omega 2 ima puno manje spajanja cijan rasterskih elemenata u odnosu na Rho 512.

Promatranjem kvalitete reprodukcije linije kod fonta od 4 pt može se zaključiti da u svim kolornim separacijama (osim u crnoj) Durst Omega 2 ima kraću i kontrastniju liniju od Durst Rho 512. U crnoj kolornoj separaciji najširu liniju ima model Omega 2 i njezina širina iznosi $150,07 \mu\text{m}$, a najužu ima model Rho 512 i njezina širina iznosi $95,38 \mu\text{m}$. Od kolornih separacija, najužu liniju ima Omega 2 (u cijan), a najširu Rho 512 (u cijanu). Vizualna analiza elementa veličine 4 pt pri povećanju od 100x potvrdila je da Omega 2 daje otiske oštrijih rubova i s manje satelitskih kapljica.

Vrijednosti zamućenja u svim kolornim separacijama najveće su kod model Durst Rho 512. Najveće devijacije u odnosu na Omega 2 pokazuje kod početnog zamućenja u magenta boji ($\Delta b_{\text{max}} = 245,99$), a najmanje u cijan boji ($\Delta b_{\text{min}} = 86,97$).

Istraživanje je pokazalo da konstrukcija ispisnih glava utječe na kvalitetu reprodukcije te da manje ispisne glave postižu otiske bolje kvalitete. Slaganjem većeg broja glava u jednu

dobiva se na brzini otiskivanja, ali očekivana kvaliteta otiska je manja. Također zbog potrošnje male Inkjet glave su drugačije sastavljene što je vidljivo da za cijan, magenta i žute otiske vrijedi druga krivulja reprodukcije u odnosu na crnu.

6. LITERATURA

1. S.F.Pond., (2000). *Inkjet Technology and Product Development Strategies*, doktorski rad, Torrey Pines Research.
2. J.R. Castrejn-Pita, W.R.S. Baxter, J. Morgan, S. Temple, G.D. Martin, I.M. Hutchings. (2013). *Future, Opportunities and Challenges of Inkjet Technologies*, dostupno na: <https://www.repository.cam.ac.uk/xmlui/bitstream/handle/1810/244791/Castrejon-circulation.pdf?sequence=1>, 17.12.2014.
3. ***<http://www.imaging.org/ist/resources/tutorials/inkjet.cfm> – *Progress and Trends in Inkjet Technology*, 20.4.2015.
4. H.Wijshoff., (2008). *Structure and Fluid-Dynamics in Piezo Inkjet printheads*, doktorski rad, Océ Technologies B.V.
5. ***www.kajakari.net/PracticalMems – *Practical MEMS book*, 5.3.2015.
6. ***http://www.scmnm.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=29&Itemid=225 – *History of MEMS*, 5.3.2015.
7. ***<http://higherred.mheducation.com/sites/dl/free/0072402334/89597/bonuschapter07.pdf> – *Materials for MEMS*, 5.3.2015.
8. ***www.semicon.europa.org/cms/groups/public/documents/web_content/ctr_029413.pdf – *Markers of Inkjet Printers*, 5.3.2015.
9. ***<http://www.large-format-printers.org/mems-printheads-memjet-printers-reality-check.php> – *Mems Printheads*, 5.3.2015.
10. Kia Silverbook, *Inkjet Printheads*, US 6,588,882 B2, 8.7.2003.
11. Kia Silverbook, R.M.L. Foote, A.J. North, J.M. Fishburn, P.D. Lunsmann, A.A. Papadakis, C.S. Lakshmi, F.J. Crous, M.S. Walker, S.G. Mallinson, P.J. Reichl, *Mems Bubble Generator*, US 7,654,645 B2, 2.2.2010.
12. ***https://www.epson.ca/_alfresco/LandingPages/landing/PrecisionCore/PrecisionCore_White_Paper.pdf – *Next Generation Inkjet Printing Technology*, 30.3.2015.
13. ***<http://www.inkjetpatents.com/Resources/JF%2011%20Directions.pdf> – *Inkjet Technology*, 11.1.2015.

14. ***http://uvledcommunity.org/uploads/pdfs/UV-LED-NPIRI_Paper_FlintGroup_Dec2014.pdf – *UV LED is Shining New Light on an Old Subject*, 11.1.2015.
15. ***http://uvledcommunity.org/uploads/pdfs/Technote-UV-LED-print-guide-US_web.pdf – *UV LED-The Time is Now*, 11.1.2015.
16. ***http://www.sericomex.com/sites/default/files/131107_Produktblaetter-frontlit-A4_4.pdf – *Frontlit Light Eco*, 5.5.2015.
17. ***<https://www.fxs.com.au/webcontent/docs/SIHL%20TriSolv%20PrimeArt%20Paper%203686%20gloss%20200gsm.pdf> – *TriSolv Paper*, 5.5.2015.
18. ***http://www.durst.it/media/Durst-Ink_booklet.pdf – *Durst Ink Booklet*, 25.2.2015.
19. ***http://www.sunchemical.com.pl/Produkty/Offset-arkuszowy/farby-offsetowe-konwencjonalny/EXPRESS-TDS/PL/SunLit_Express_-_TDS.pdf – *Sunlit Express*, 6.5.2015.
20. ***http://www.blackignition.co.za/download/files_15/BrochureDurstOmega2EN.pdf – *Durst Omega 2*, 25.2.2015.
21. ***<http://www.durstus.com/cmsAdmin/uploads/durst-rho-512r.pdf> – *Durst Rho 512*, 6.5.2015.
22. ***http://www.xrite.com/documents/Manuals/en/eXact_User_guide_en.pdf – *X-Rite eXact*, 8.5.2015.
23. ***http://www.leica-microsystems.com/fileadmin/downloads/Leica%20DM2500%20M/Brochures/Leica_DM2500_M-Brochure_EN.pdf – *Leica DM 2500*, 5.6.2015.
24. ***http://www.qea.com/upload/files/products/datasheet_personalias_newaddr.pdf – *Personal IAS*, 5.5.2015.

7. PRILOZI

Prilog 1. Vrijednosti RTV originala i RTV otiska za Durst Omega 2, Durst Rho 512 i ofset Speedmastera 52 kod cijan kolorne separacije

cijan	DURST omega			
RTV org/RTV ot	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	13,6	13,7	14,2	13,83
20	27,5	26,7	26,6	26,93
30	38,7	38,7	39,2	38,87
40	53	52,3	52,5	52,60
50	64,1	63	63,3	63,47
60	72,9	73	72,8	72,90
70	81,8	82,1	82	81,97
80	88,9	89,2	88,9	89,00
90	95,9	96	96,3	96,07
100	99,9	100,1	99,8	100,00

	DURST 512			
RTV org/RTV ot	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	13,2	13,7	13,7	13,53
20	26,5	27,1	27,1	26,90
30	39,7	40,4	40,4	40,17
40	52,4	52,6	52,5	52,50
50	62,4	63	62,5	62,63
60	73,4	73	72,8	73,07
70	80,2	80	79,6	79,93
80	88	87	87	87,33
90	93,2	93,4	93	93,20
100	99,4	100,1	99,2	100,00

	offset			
RTV org/RTV ot	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	13,4	12,7	13,7	13,27
20	24,8	24,2	23,8	24,27
30	34,7	34,2	35,4	34,77
40	45,3	45,1	45,5	45,30
50	55,7	55,9	56,8	56,13
60	68,1	66,4	67,5	67,33
70	77,9	76,5	77,5	77,30
80	84,8	84,9	85,3	85,00
90	92,2	92,5	91,9	92,20
100	100	100,1	99,9	100,00

Prilog 2. Vrijednosti RTV originala i RTV otiska za Durst Omega 2, Durst Rho 512 i ofset Speedmastera 52 kod magenta kolorne separacije

magenta	DURST omega			
RTV org/RTV	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	16,7	16,2	16,3	16,40
20	29,2	29,3	29,7	29,40
30	43,1	42,9	43,3	43,10
40	55,6	55,2	55,4	55,40
50	66,8	66,3	66,9	66,67
60	76,4	75,9	75,9	76,07
70	83,7	83,9	83,9	83,83
80	89,7	89,8	89,7	89,73
90	95,5	95,2	95,5	95,40
100	99,2	99,3	99,5	100,00

	DURST 512			
RTV org/RTV	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	15,5	14,5	14,9	14,97
20	28,9	28,5	27,9	28,43
30	42,6	42,6	41,6	42,27
40	54,8	54	54,5	54,43
50	65,7	65,9	67,1	66,23
60	76,8	75,8	76,4	76,33
70	84,3	84,2	84,3	84,27
80	90,4	90,5	90,4	90,43
90	95,3	95,5	95,3	95,37
100	98,5	99,2	99,3	100,00

	offset			
RTV org/RTV	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	17,8	16,3	16,3	16,80
20	30	28,7	27,9	28,87
30	40,1	40,1	40,4	40,20
40	52,4	52,2	52,4	52,33
50	63,7	63	62,6	63,10
60	73,6	73,9	72,8	73,43
70	82,8	82,6	82,7	82,70
80	88,6	87,7	87,8	88,03
90	93,6	94	94,4	94,00
100	99,9	100	100	100,00

Prilog 3. Vrijednosti RTV originala i RTV otiska za Durst Omega 2, Durst Rho 512 i offset Speedmastera 52 kod žute kolorne separacije

žuta	DURST omega			
RTV org/RTV	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	14,1	13	14,3	13,80
20	31,1	29,1	30,1	30,10
30	45,4	45,2	45,4	45,33
40	56,7	52,5	53,5	54,23
50	60	61,7	64,2	61,97
60	74	73,4	76,4	74,60
70	83,4	83,6	84,3	83,77
80	83,4	84,7	85,6	84,57
90	86,6	87,5	88,6	87,57
100	95,8	92,7	92,5	100,00

	DURST 512			
RTV org/RTV	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	17,2	17,8	16	17,00
20	30,3	29,2	30	29,83
30	43,6	46,2	42,4	44,07
40	54,8	51,7	53,3	53,27
50	69,3	66,5	62,9	66,23
60	69,8	68,8	68,4	69,00
70	79,7	81,3	81,2	80,73
80	90,5	87	89,6	89,03
90	97,6	101	99,2	99,27
100	96,3	98	98,5	100,00

	offset			
RTV org/RTV	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	9,5	11,3	8,8	9,87
20	19,9	19,2	15,5	18,20
30	29,8	30,3	32,3	30,80
40	37,2	38,5	37,8	37,83
50	50,5	48	46,5	48,33
60	64,8	59,3	62,8	62,30
70	73,7	72,2	72,3	72,73
80	85	81,2	80,9	82,37
90	93	90,3	90,6	91,30
100	100	99,4	99,8	100,00

Prilog 4. Vrijednosti RTV originala i RTV otiska za Durst Omega 2, Durst Rho 512 i offset Speedmastera 52 kod crne kolorne separacije

cma	DURST omega			
RTV org/RTV	1 mjerenje	2 mjerenje	3. mjerenje	srednji
0	0	0	0	0
10	11,8	13,7	14,1	13,20
20	30,3	30	29	29,77
30	44	43,8	42,5	43,43
40	57	55,7	55,7	56,13
50	67,5	67,7	67,7	67,63
60	77,4	77,1	77,4	77,30
70	84,8	85,4	85,6	85,27
80	90,8	90,7	91,2	90,90
90	95,4	95,3	95,2	95,30
100	100,3	100,1	100	100,00

	DURST 512			
RTV org/RTV	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	15,4	15,6	15,2	15,40
20	31	31,3	31,5	31,27
30	48,6	48,6	48,6	48,60
40	61,7	62,1	61,7	61,83
50	72,9	72,4	71,5	72,27
60	82,5	81,7	81,9	82,03
70	89,6	89,9	89,7	89,73
80	95,1	95,2	95,4	95,23
90	99,2	99	98,5	98,90
100	99,4	99,5	99,7	100,00

	offset			
RTV org/RTV	1 mjerenje	2 mjerenje	3 mjerenje	srednje
0	0	0	0	0,00
10	20,4	19,7	21	20,37
20	33,6	32,6	33,6	33,27
30	46,3	45,5	46,1	45,97
40	59,3	58	58,1	58,47
50	68,1	67,8	68,9	68,27
60	78,7	78,3	79,1	78,70
70	86,1	85,6	86,2	85,97
80	90,3	89,4	90,2	89,97
90	95,4	95	95,3	95,23
100	100	100	100	100,00

Prilog 5. Vrijednosti promjera rasterskih elemenata na 10% RTV, 20% RTV i 30% RTV u a) cijan, b) magenta, c) žutoj i d) crnoj kolornoj separaciji

a)

RTV	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
10%	49,47	50,71	56,78
20%	51,33	61,18	79,23
30%	62,39	76,6	97,49

b)

RTV	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
10%	54,14	63,39	65,02
20%	67,9	73,63	86,33
30%	76,57	80,69	103,23

c)

RTV	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
10%	52,45	56,17	71,59
20%	60,36	67,14	96,8
30%	75,38	83,62	115,56

d)

RTV	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
10%	54,23	50,99	71,22
20%	76,58	72,04	93,81
30%	79,34	61,14	112,89

Prilog 6. Vrijednosti udjela cijan i magenta rasterskih elemenata na 10% RTV

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
-	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	0,971	7	0
32	9	19	0
40	51	26	2
48	24	20	45
56	2	7	49
64	7	9	5
72	4	5	0
80	0	3	0
88	0,971	2	0
96	0,971	0	0
104	0	1	0
112	0	0	0
120	0	0	0
128	0	0	0
136	0	0	0
144	0	0	0
152	0	0	0
160	0	0	0
168	0	0	0
176	0	0	0
184	0	0	0
192	0	0	0
200	0	0	0
208	0	0	0
216	0	0	0
224	0	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	5	5	0
32	17	6	0
40	30	23	0
48	15	18	2
56	7	6	35
64	10	9	58
72	5	7	5
80	5	8	0
88	2	4	0
96	1	4	0
104	2	3	0
112	0,45	1	0
120	0	1	0
128	0,225	1	0
136	0,225	0	0
144	0,225	1	0
152	0	1	0
160	0	0	0
168	0	0	0
176	0	0	0
184	0	0	0
192	0	0	0
200	0	0	0
208	0	0	0
216	0	0	0
224	0	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Prilog 7. Vrijednosti udjela žutih i crnih rasterskih elemenata na 10% RTV

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	3	9	0
32	2	4	0
40	13	4	0
48	62	38	0
56	14	25	5
64	2	10	46
72	2	2	48
80	2	4	1
88	0,413	3	0
96	0	0	0
104	0	0	0
112	0	0	0
120	0	0	0
128	0	0	0
136	0	0	0
144	0	0	0
152	0	0	0
160	0	0	0
168	0	0	0
176	0	0	0
184	0	0	0
192	0	0	0
200	0	0	0
208	0	0	0
216	0	0	0
224	0	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	5	12	0
32	22	16	0
40	30	26	0
48	20	10	0
56	7	8	5
64	7	9	51
72	5	6	43
80	3	7	0
88	0,98	3	0
96	0	1	0
104	0,49	0	0
112	0	1	0
120	0	0	0
128	0	0	0
136	0	0	0
144	0	0	0
152	0	0	0
160	0	0	0
168	0	0	0
176	0	0	0
184	0	0	0
192	0	0	0
200	0	0	0
208	0	0	0
216	0	0	0
224	0	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Prilog 8. Vrijednosti udjela cijan i magenta rasterskih elemenata na 20% RTV

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	13	16	0
32	37	16	0
40	13	11	0
48	5	11	0
56	9	9	0
64	5	9	2
72	5	6	59
80	4	4	38
88	3	6	0
96	2	2	0
104	3	2	0
112	0,946	3	0
120	0,709	1	0
128	0,236	1	0
136	0,236	1	0
144	0,236	1	0
152	0	0	0
160	0	1	0
168	0	0	0
176	0	0	0
184	0	0	0
192	0	0	0
200	0	0	0
208	0	1	0
216	0	0	0
224	0	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	22	11	0
32	14	11	0
40	6	10	0
48	8	10	0
56	4	6	0
64	7	8	0
72	4	7	6
80	6	6	59
88	4	5	35
96	4	4	0
104	5	4	0
112	4	3	0
120	1	4	0
128	2	4	0
136	2	2	0
144	0,587	2	0
152	0,88	1	0
160	1	0	0
168	0,88	0	0
176	0,88	0	0
184	0	1	0
192	0	0	0
200	0	0	0
208	0,293	0	0
216	0,293	0	0
224	0	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Prilog 9. Vrijednosti udjela žutih i crnih rasterskih elemenata na 20% RTV

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	0	7	0
32	3	0	0
40	24	7	0
48	31	25	0
56	7	19	0
64	8	5	0
72	14	8	0
80	5	11	1
88	4	4	39
96	2	6	59
104	2	4	2
112	0,538	1	0
120	0,806	1	0
128	0	1	0
136	0	0	0
144	0	1	0
152	0	0	0
160	0	0	0
168	0	0	0
176	0	0	0
184	0	0	0
192	0	0	0
200	0	0	0
208	0	0	0
216	0	0	0
224	0	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	12	13	0
32	17	16	0
40	10	10	0
48	7	9	0
56	8	7	0
64	8	3	0
72	4	7	0
80	4	6	4
88	5	6	71
96	4	3	25
104	4	5	0
112	4	3	0
120	2	3	0
128	2	2	0
136	0,806	2	0
144	0,806	0	0
152	0,806	0	0
160	0,806	1	0
168	0,403	0	0
176	0,403	0	0
184	1	0	0
192	0,806	0	0
200	0	0	0
208	0,806	0	0
216	0,403	1	0
224	1	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Prilog 10. Vrijednosti udjela cijan i magenta rasterskih elemenata na 30% RTV

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	20	13	0
32	19	10	0
40	5	9	0
48	12	6	0
56	7	8	0
64	7	10	0
72	5	8	0
80	4	7	1
88	3	5	26
96	3	3	71
104	2	3	1
112	3	2	0
120	1	1	0
128	1	2	0
136	2	3	0
144	1	2	0
152	0,86	2	0
160	0,287	1	0
168	0,287	1	0
176	0	1	0
184	0,573	1	0
192	0,287	0	0
200	0,573	0	0
208	0	0	0
216	0,287	1	0
224	0	1	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	9	20	0
32	15	10	0
40	11	7	0
48	8	5	0
56	8	5	0
64	6	3	0
72	6	5	0
80	2	5	1
88	4	3	1
96	7	7	53
104	2	5	45
112	2	3	0
120	4	3	0
128	3	5	0
136	4	5	0
144	1	2	0
152	1	2	0
160	4	2	0
168	0	2	0
176	0,552	2	0
184	0	0	0
192	0	0	0
200	1	0	0
208	0	2	0
216	0	0	0
224	0,552	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Prilog 11. Vrijednosti udjela žutih i crnih rasterskih elemenata na 30% RTV

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	0,635	5	0
32	5	2	0
40	24	8	0
48	15	19	0
56	5	9	0
64	7	6	0
72	6	10	1
80	5	7	2
88	6	5	28
96	4	7	53
104	4	3	17
112	2	4	0
120	3	3	0
128	3	3	0
136	3	2	0
144	2	3	0
152	0,635	1	0
160	0,635	1	0
168	0,952	1	0
176	0	1	0
184	0,317	1	0
192	0,317	1	0
200	0	1	0
208	0,317	0	0
216	0	1	0
224	0	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Size	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
0	0	0	0
8	0	0	0
16	0	0	0
24	25	40	0
32	25	40	0
40	15	20	0
48	10	0	0
56	4	0	0
64	6	0	0
72	2	0	0
80	0	0	0
88	2	0	0
96	4	0	5
104	2	0	85
112	2	0	10
120	0	0	0
128	0	0	0
136	0	0	0
144	2	0	0
152	0	0	0
160	0	0	0
168	0	0	0
176	0	0	0
184	0	0	0
192	0	0	0
200	0	0	0
208	0	0	0
216	0	0	0
224	0	0	0
232	0	0	0
240	0	0	0
248	0	0	0
256	0	0	0
264	0	0	0
272	0	0	0
280	0	0	0
288	0	0	0
296	0	0	0
304	0	0	0
312	0	0	0
320	0	0	0
328	0	0	0
336	0	0	0
344	0	0	0
352	0	0	0
360	0	0	0
368	0	0	0
376	0	0	0
384	0	0	0
392	0	0	0

Prilog 12. Vrijednosti cirkularnosti rasterskih elemenata na 10% RTV, 20% RTV i 30% RTV u a) cijan, b) magenta, c) žutoj i d) crnoj kolornoj separaciji

a)

RTV	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
10%	1,59	2,08	1,25
20%	1,92	2,75	1,27
30%	2,47	3,69	1,29

b)

RTV	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
10%	1,95	2,12	1,18
20%	2,97	2,52	1,19
30%	3,82	3,15	1,19

c)

RTV	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
10%	1,25	1,43	1,19
20%	1,66	1,65	1,24
30%	2,32	2,12	1,24

d)

RTV	Omega 2	Rho 512	Speedmaster
10%	2,22	1,94	1,08
20%	3,58	2,97	1,12
30%	4,78	3,5	1,13

Prilog 13. Vrijednosti distribucije rasterskih točkica elementa veličine 4pt u cijan kolornoj separaciji

Durst Omega 2		Durst Rho 512		Offset Speedmaster 52	
X mm	Reflectance %	X mm	Reflectance %	X mm	Reflectance %
0	71,236	0	68,837	0	73,372
0	71,61	0,005	69	0	73
0	71,801	0,011	69	0	74
0	71	0,016	68	0	74
0	71	0,021	68	0	74
0	72	0,027	68	0	74
0	71	0,032	68	0	74
0	71	0,037	66	0	74
0	71	0,043	65	0	74
0	70	0,048	65	0	74
0	70	0,053	65	0	73
0	69	0,059	65	0	73
0	69	0,064	65	0	73
0	69	0,069	66	0	73
0	69	0,075	66	0	73
0	69	0,08	67	0	73
0	69	0,086	67	0	73
0	69	0,091	66	0	72
0	69	0,096	66	0	72
0	68,883	0,102	66	0	72
0	68,828	0,107	66	0	73
0	68,956	0,112	66	0	73
0	68,7	0,118	66	0	73
0	67,943	0,123	65	0	73
0	67,852	0,128	66	0	72
0	67,679	0,134	65	0	72
0	67,788	0,139	65	0	72
0	68,208	0,144	65	0	72
0	68,618	0,15	65	0	72
0	69,083	0,155	63	0	72
0	69,257	0,16	63	0	72
0	68,846	0,166	59	0	72
0	68,865	0,171	58	0	72
0	68,554	0,176	55	0	71
0	68,089	0,182	54	0	71
0	64,879	0,187	51	0	71
0	63,73	0,192	51	0	71
0	60,392	0,198	48	0	70
0	60,018	0,203	48	0	69
0	53,47	0,208	48	0	70
0	51,373	0,214	48	0	69
0	43,192	0,219	48	0	69
0	41,614	0,225	49	0	66
0	35,869	0,23	50	0	65
0	34,884	0,235	50	0	61
0	29,494	0,241	49	0	59
0	28,792	0,246	48	0	52
0	26,858	0,251	47	0	50
0	26,612	0,257	46	0	44
0	26,466	0,262	45	0	42
0,267	27,332	0,267	44,253	0,267	38,777
0,273	29,284	0,273	44,157	0,273	38,362
0,278	30,15	0,278	45,037	0,278	35,932
0,283	32,43	0,283	45,063	0,283	35,702
0,289	33,16	0,289	45,29	0,289	35,14
0,294	35,486	0,294	45,211	0,294	34,902
0,299	34,756	0,299	45,124	0,299	34,694
0,305	37,31	0,305	44,575	0,305	34,817
0,31	38,176	0,31	44,723	0,31	34,925

0,315	43,301	0,315	44,871	0,315	35,256
0,321	45,052	0,321	44,906	0,321	35,648
0,326	51,108	0,326	45,9	0,326	35,794
0,331	52,649	0,331	46,449	0,331	36,432
0,337	56,863	0,337	48,662	0,337	36,386
0,342	57,282	0,342	49,316	0,342	37,439
0,347	61,487	0,347	52,166	0,347	38,116
0,353	62,079	0,353	53,29	0,353	42,753
0,358	65,18	0,358	56,296	0,358	45,16
0,364	65,746	0,364	57,054	0,364	52,557
0,369	68,755	0,369	60,261	0,369	55,117
0,374	68,974	0,374	60,654	0,374	60,738
0,38	70,442	0,38	62,745	0,38	61,484
0,385	70,479	0,385	63,12	0,385	66,536
0,39	71,354	0,39	65,298	0,39	66,851
0,396	71,446	0,396	65,586	0,396	69,55
0,401	71,746	0,401	67,198	0,401	69,796
0,406	71,719	0,406	67,364	0,406	71,634
0,412	71,892	0,412	68,296	0,412	71,672
0,417	71,883	0,417	68,532	0,417	71,934
0,422	71,847	0,422	68,845	0,422	71,98
0,428	71,801	0,428	68,854	0,428	72,611
0,433	71,984	0,433	69,403	0,433	72,618
0,438	72,084	0,438	69,229	0,438	72,71
0,444	71,783	0,444	69,124	0,444	72,726
0,449	71,792	0,449	68,967	0,449	73,133
0,454	71,573	0,454	69,011	0,454	73,01
0,46	71,582	0,46	69,15	0,46	73,21
0,465	71,801	0,465	69,185	0,465	73,233
0,47	71,801	0,47	69,612	0,47	73,326
0,476	71,829	0,476	69,743	0,476	73,318
0,481	71,829	0,481	69,56	0,481	73,095
0,486	71,938	0,486	69,516	0,486	73,033
0,492	71,965	0,492	69,351	0,492	72,926
0,497	72,175	0,497	69,412	0,497	73,149
0,503	72,13	0,503	69,394	0,503	72,972
0,508	72,102	0,508	69,9	0,508	73,064
0,513	72,093	0,513	70,118	0,513	73,187
0,519	72,403	0,519	70,519	0,519	73,141
0,524	72,467	0,524	70,44	0,524	72,826
0,529	72,066	0,529	70,336	0,529	73,064
0,535	72,084	0,535	70,187	0,535	73,118
0,54	72,02	0,54	70,222	0,54	73,057
0,545	71,929	0,545	70,109	0,545	72,957
				0,551	72,995
				0,556	73,18
				0,561	73,141
				0,567	73,287
				0,572	73,218
				0,577	73,349
				0,583	73,349
				0,588	73,664
				0,593	73,641
				0,599	74,11
				0,604	74,156
				0,609	74,079
				0,615	74,056
				0,62	74,102
				0,625	74,118
				0,631	73,81

Prilog 14. Vrijednosti distribucije rasterskih točkica elementa veličine 4pt u magenta kolornoj separaciji

Durst Omega 2		Durst Rho 512		Offset Speedmaster 52	
X mm	Reflectance %	X mm	Reflectance %	X mm	Reflectance %
0	63,537	0	61,127	0	64,2
0	63,241	0	61	0	64
0	63,249	0	61	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	60	0	64
0	63	0	59	0	64
0	63	0	59	0	64
0	63	0	58	0	63
0	63	0	58	0	63
0	63	0	57	0	64
0	63	0	56	0	64
0	63	0	54	0	64
0	64	0	53	0	64
0	63	0	51	0	64
0	63,345	0	50	0	64
0	63,225	0	48	0	64
0	63,433	0	47	0	65
0	63,77	0	47	0	65
0	63	0	47	0	65
0	63,369	0	47	0	64
0	63,105	0	48	0	64
0	62,977	0	49	0	64
0	62,625	0	48	0	64
0	62,449	0	48	0	63
0	62,145	0	48	0	63
0	61,985	0	49	0	62
0	60,896	0	50	0	62
0	60,16	0	51	0	62
0	58,143	0	52	0	62
0	56,527	0	53	0	62
0	54,078	0	53	0	61
0	52,725	0	53	0	60
0	48,347	0	53	0	60
0	45,066	0	52	0	58
0	40,04	0	51	0	56
0	37,127	0	51	0	51
0	33,021	0	51	0	46
0	31,365	0	50	0	39
0	28,94	0	49	0	35
0	28,227	0	48	0	31
0	27,683	0	47	0	29
0	27,843	0	45	0	26
0	28,683	0	43	0	24
0,267	30,044	0,267	40,987	0,267	22,519
0,273	30,972	0,273	40,07	0,273	21,325
0,278	31,052	0,278	39,083	0,278	20,383
0,283	30,228	0,283	38,725	0,283	20,174
0,289	29,54	0,289	37,857	0,289	20,627
0,294	29,332	0,294	37,64	0,294	20,915
0,299	29,404	0,299	37,521	0,299	20,741
0,305	29,412	0,305	37,612	0,305	20,645
0,31	29,844	0,31	38,347	0,31	20,802

0,315	31,813	0,315	38,782	0,315	21,874
0,321	33,333	0,321	39,461	0,321	23,416
0,326	36,206	0,326	39,587	0,326	25,403
0,331	38,519	0,331	39,405	0,331	29,011
0,337	42,401	0,337	38,929	0,337	32,436
0,342	43,946	0,342	38,501	0,342	38,318
0,347	47,291	0,347	38,754	0,347	43,521
0,353	48,996	0,353	38,543	0,353	49,804
0,358	52,405	0,358	37,948	0,358	51,974
0,364	54,126	0,364	37,353	0,364	56,026
0,369	57,567	0,369	36,464	0,369	56,95
0,374	58,727	0,374	35,637	0,374	59,102
0,38	60,512	0,38	35,259	0,38	60,017
0,385	61,12	0,385	35,322	0,385	61,281
0,39	62,433	0,39	35,889	0,39	61,481
0,396	62,817	0,396	36,821	0,396	62,109
0,401	63,505	0,401	37,759	0,401	62,423
0,406	63,657	0,406	39,804	0,406	62,684
0,412	63,858	0,412	40,903	0,412	62,501
0,417	63,89	0,417	42,892	0,417	62,623
0,422	64,314	0,422	43,915	0,422	62,693
0,428	64,554	0,428	46,401	0,428	62,728
0,433	64,626	0,433	47,878	0,433	62,684
0,438	64,77	0,438	50,497	0,438	62,641
0,444	65,082	0,444	51,66	0,444	62,876
0,449	65,042	0,449	53,382	0,449	63,007
0,454	64,938	0,454	53,873	0,454	62,963
0,46	64,826	0,46	55,175	0,46	63,085
0,465	64,666	0,465	55,231	0,465	62,841
0,47	64,778	0,47	56,162	0,47	62,492
0,476	64,826	0,476	56,169	0,476	62,649
0,481	65,01	0,481	57,171	0,481	62,989
0,486	65,114	0,486	57,549	0,486	63,172
0,492	65,01	0,492	57,843	0,492	63,224
0,497	65,034	0,497	58,088	0,497	63,207
0,503	65,09	0,503	58,172	0,503	63,538
0,508	65,274	0,508	57,444	0,508	63,712
0,513	65,226	0,513	55,749	0,513	64,105
0,519	65,41	0,519	55,518	0,519	63,922
0,524	65,458	0,524	55,112	0,524	64,052
0,529	65,53	0,529	55,525	0,529	64,157
0,535	65,546	0,535	56,8	0,535	64,462
0,54	65,386	0,54	57,829	0,54	64,671
0,545	65,442	0,545	58,445	0,545	64,819
0,551	65,482	0,551	58,768	0,551	65,124
0,556	65,418	0,556	59,244	0,556	65,089
0,561	65,45	0,561	58,704	0,561	65,133
		0,567	58,964	0,567	64,915
		0,572	58,754	0,572	64,863
		0,577	58,452	0,577	64,558
		0,583	57,836	0,583	64,383
		0,588	57,164		
		0,593	56,667		
		0,599	55,707		
		0,604	55,805		
		0,609	56,12		
		0,615	56,807		
		0,62	58,074		
		0,625	58,81		
		0,631	59,587		
		0,636	60,126		
		0,641	61,043		
		0,647	61,303		
		0,652	61,45		
		0,658	61,001		
		0,663	61,12		
		0,668	61,169		

Prilog 15. Vrijednosti distribucije rasterskih točkica elementa veličine 4pt u žutoj kolornoj separaciji

Durst Omega 2		Durst Rho 512		Offset Speedmaster 52	
X mm	Reflectance %	X mm	Reflectance %	X mm	Reflectance %
0	54,405	0	48,448	0	51,373
0	54,663	0,005	48,382	0	51
0	54,758	0,011	48,391	0	51
0	54,825	0,016	48,423	0	51
0	55	0	48	0	51
0	55	0	49	0	51
0	55	0	49	0	51
0	55	0	49	0	51
0	55	0	49	0	52
0	55	0	49	0	52
0	55	0	49	0	51
0	54	0	49	0	51
0	54	0	48	0	51
0	54	0	47	0	51
0	54	0	48	0	50
0	54	0	48	0	50
0	54	0	48	0	50
0	54	0	47	0	50
0	54	0	47	0	49
0	53,639	0,102	46,479	0	49
0	53,333	0,107	46,07	0	48
0	53,343	0,112	45,858	0	48
0	53,104	0,118	45,376	0	47
0	53,085	0,123	45,425	0	47
0	52,626	0,128	45,637	0	45
0	52,626	0,134	45,433	0	45
0	52,013	0,139	45,98	0	41
0	51,937	0,144	45,956	0	41
0	50,464	0,15	45,237	0	37
0	50,282	0,155	44,861	0	36
0	48,819	0,16	44,73	0	31
0	48,446	0,166	44,673	0	30
0	44,553	0,171	42,239	0	25
0	43,922	0,176	42,124	0	24
0	40	0,182	39,771	0	21
0	39,637	0,187	39,232	0	20
0	33,725	0,192	36,536	0	18
0	32,453	0,198	35,94	0	18
0	26,743	0,203	34,093	0	18
0	26,246	0,208	34,011	0	18
0	23,864	0,214	33,064	0	18
0	23,625	0,219	32,827	0	18
0	22,009	0,225	31,757	0	18
0	22,028	0,23	31,912	0	18
0	21,97	0,235	30,899	0	17
0	21,894	0,241	31,038	0	16
0	23,73	0,246	30,384	0	16
0	24,304	0,251	30,065	0	15
0	24,639	0,257	27,949	0	15
0	24,486	0,262	27,631	0	16
0,267	24,687	0,267	26,258	0,267	18,224
0,273	24,706	0,273	26,046	0,273	18,535
0,278	26,638	0,278	25,776	0,278	22,122
0,283	26,934	0,283	25,694	0,283	23,126
0,289	29,02	0,289	25,752	0,289	28,651
0,294	29,335	0,294	25,801	0,294	30,219
0,299	30,99	0,299	26,609	0,299	37,463

0,305	31,162	0,305	27,042	0,305	37,935
0,31	34,462	0,31	28,856	0,31	42,918
0,315	35,466	0,315	29,616	0,315	43,23
0,321	40,411	0,321	30,825	0,321	47,682
0,326	40,803	0,326	30,67	0,326	48,005
0,331	45,595	0,331	32,067	0,331	49,585
0,337	45,806	0,337	32,198	0,337	49,596
0,342	48,293	0,342	32,132	0,342	50,992
0,347	48,503	0,347	32,01	0,347	51,027
0,353	51,258	0,353	32,729	0,353	51,176
0,358	51,239	0,358	33,064	0,358	51,13
0,364	51,631	0,364	33,529	0,364	51,257
0,369	51,899	0,369	33,464	0,369	51,13
0,374	52,386	0,374	33,897	0,374	50,738
0,38	52,195	0,38	34,06	0,38	50,519
0,385	51,784	0,385	35,997	0,385	50,784
0,39	51,832	0,39	36,127	0,39	50,796
0,396	51,172	0,396	38,415	0,396	50,381
0,401	51,076	0,401	39,093	0,401	50,334
0,406	51,593	0,406	40,776	0,406	50,288
0,412	51,717	0,412	40,433	0,412	49,965
0,417	52,138	0,417	41,275	0,417	49,55
0,422	52,233	0,422	40,98	0,422	49,458
0,428	53,295	0,428	41,732	0,428	49,735
0,433	53,429	0,433	42,181	0,433	49,573
0,438	54,271	0,438	43,611	0,438	50,15
0,444	54,213	0,444	43,995	0,444	50,115
0,449	54,252	0,449	44,788	0,449	50,3
0,454	54,28	0,454	44,559	0,454	50,035
0,46	54,414	0,46	45,31	0,46	50,104
0,465	54,319	0,465	45,221		
0,47	54,089	0,47	45,368		
0,476	54,108	0,476	45,441		
0,481	54,271	0,481	46,397		
0,486	54,328	0,486	46,626		
0,492	54,51	0,492	47,296		
0,497	54,433	0,497	47,328		
0,503	54,634	0,503	47,533		
0,508	54,5	0,508	47,557		
0,513	54,252	0,513	47,525		
0,519	54,309	0,519	47,647		
0,524	54,605	0,524	47,606		
		0,529	47,475		
		0,535	47,933		
		0,54	48,178		
		0,545	48,807		
		0,551	48,913		
		0,556	49,101		
		0,561	49,134		
		0,567	49,551		
		0,572	49,534		
		0,577	49,248		
		0,583	49,167		
		0,588	49,289		
		0,593	49,257		
		0,599	49,395		
		0,604	49,502		
		0,609	49,82		

Prilog 16. Vrijednosti distribucije rasterskih točkica elementa veličine 4pt u crnoj kolornoj separaciji

Durst Omega 2		Durst Rho 512		Offset Speedmaster 52	
X mm	Reflectance %	X mm	Reflectance %	X mm	Reflectance %
0	71,684	0	70,258	0	73,486
0	71,805	0,005	70,464	0	73
0	71,795	0,011	70,233	0	73
0	72	0	70	0	74
0	72	0	70	0	74
0	73	0	70	0	74
0	72	0	70	0	74
0	72	0	69	0	74
0	72	0	69	0	74
0	72	0	69	0	74
0	71,101	0,053	69,424	0	74
0	71	0	69	0	74
0	71	0	69	0	74
0	72	0	69	0	74
0	72	0	69	0	74
0	71,684	0,08	68,814	0	75
0	72,006	0,086	68,559	0	75
0	71,986	0,091	68,497	0	75
0	72	0	68	0	75
0	72,026	0,102	67,488	0	75
0	71,885	0,107	67,781	0	74
0	71,724	0,112	68,397	0	74
0	71,825	0,118	68,895	0	74
0	71,362	0,123	68,154	0	74
0	71,815	0,128	68,242	0	74
0	71,825	0,134	68,024	0	73
0	71,835	0,139	68,447	0	73
0	71,694	0,144	67,868	0	73
0	72,086	0,15	67,6	0	73
0	72,157	0,155	66,829	0	72
0	71,523	0,16	66,206	0	72
0	71,352	0,166	65,534	0	72
0	70,97	0,171	64,606	0	72
0	70,85	0,176	63,492	0	72
0	70,548	0,182	61,861	0	71
0	70,478	0,187	60,915	0	71
0	70,407	0,192	60,131	0	70
0	69,904	0,198	60,361	0	69
0	69,15	0,203	59,994	0	68
0	68,728	0,208	59,328	0	65
0	67,672	0,214	58,475	0	61
0	66,838	0,219	58,537	0	54
0	65,048	0,225	58,126	0	47
0	62,695	0,23	58,07	0	42
0	58,653	0,235	58,743	0	37
0	53,263	0,241	59,552	0	34
0	47,944	0,246	60,685	0	32
0	42,695	0,251	61,139	0	32
0	41,77	0,257	61,899	0	32
0	40,744	0,262	61,556	0	30
0,267	40,251	0,267	61,469	0,267	29,173
0,273	39,698	0,273	60,896	0,273	28,541
0,278	39,457	0,278	60,616	0,278	28,245
0,283	37,255	0,283	59,209	0,283	28,293
0,289	32,901	0,289	58,182	0,289	28,216
0,294	30,236	0,294	57,124	0,294	28,388
0,299	29,02	0,299	56,645	0,299	28,207
0,305	28,919	0,305	56,222	0,305	28,876
0,31	27,722	0,31	55,506	0,31	29,593
0,315	27,722	0,315	53,464	0,315	31
0,321	28,105	0,321	50,763	0,321	32,626
0,326	28,135	0,326	47,426	0,326	34,472
0,331	26,848	0,331	44,096	0,331	35,868
0,337	25,168	0,337	40,772	0,337	39,34
0,342	24,153	0,342	37,772	0,342	44,189
0,347	24,314	0,347	36,234	0,347	49,88
0,353	25,048	0,353	34,815	0,353	56,662
0,358	23,901	0,358	33,514	0,358	61,741
0,364	23,71	0,364	32,891	0,364	66,208
0,369	23,56	0,369	32,705	0,369	67,709
0,374	25,269	0,374	32,898	0,374	69,02
0,38	26,767	0,38	33,041	0,38	69,689
0,385	30,085	0,385	33,514	0,385	70,196
0,39	33,474	0,39	35,207	0,39	70,722
0,396	37,335	0,396	36,875	0,396	71,306

0,401	43,801	0,401	38,419	0,401	72,53
0,406	50,357	0,406	39,614	0,406	72,932
0,412	56,37	0,412	42,87	0,412	72,386
0,417	59,95	0,417	47,376	0,417	72,472
0,422	64,776	0,422	51,31	0,422	72,817
0,428	66,154	0,428	55,618	0,428	72,826
0,433	67,813	0,433	57,828	0,433	72,989
0,438	68,668	0,438	59,782	0,438	73,161
0,444	69,14	0,444	60,062	0,444	73,515
0,449	69,553	0,449	60,566	0,449	73,611
0,454	70,035	0,454	60,834	0,454	73,649
0,46	70,156	0,46	61,158	0,46	73,869
0,465	70,508	0,465	61,488	0,465	74,357
0,47	70,86	0,47	61,506	0,47	74,156
0,476	70,739	0,476	62,179	0,476	73,936
0,481	70,89	0,481	62,546	0,481	73,879
0,486	71,111	0,486	62,552	0,486	74,366
0,492	71,704	0,492	61,594	0,492	74,232
0,497	71,714	0,497	59,807	0,497	74,194
0,503	71,383	0,503	57,435	0,503	74,108
0,508	71,523	0,508	56,626	0,508	74,271
0,513	71,483	0,513	56,321	0,513	74,29
0,519	71,614	0,519	58,543	0,519	74,472
0,524	71,755	0,524	60,1	0,524	74,548
0,529	71,694	0,529	61,65	0,529	74,845
0,535	71,775	0,535	63,181	0,535	74,988
0,54	71,845	0,54	64,532	0,54	74,902
0,545	72,278	0,545	66,2	0,545	74,825
0,551	72,328	0,551	67,339	0,551	74,605
0,556	72,579	0,556	68,559	0,556	74,701
0,561	72,69	0,561	68,304	0,561	73,984
0,567	72,489	0,567	68,185	0,567	74,099
0,572	72,519	0,572	67,351	0,572	73,859
0,577	72,459	0,577	67,071		
0,583	72,459	0,583	66,517		
0,588	72,257	0,588	66,162		
0,593	72,408	0,593	66,268		
0,599	72,267	0,599	66,144		
0,604	72,408	0,604	66,243		
0,609	72,237	0,609	66,66		
0,615	72,247	0,615	67,221		
0,62	72,438	0,62	68,061		
0,625	72,328	0,625	69,063		
0,631	72,448	0,631	69,86		
0,636	72,499	0,636	69,542		
0,641	72,7	0,641	69,735		
		0,647	69,306		
		0,652	68,758		
		0,658	68,378		
		0,663	68,459		
		0,668	69,119		
		0,674	69,667		
		0,679	69,972		
		0,684	69,91		
		0,69	70,725		
		0,695	70,738		
		0,7	70,134		
		0,706	69,754		
		0,711	69,443		
		0,716	69,53		
		0,722	69,592		

Prilog 17. Vrijednosti početnog i završnog zamućenja u cijan, magenta, žutoj i crnoj kolornoj separaciji

a)

CIJAN	Omega	Rho 512	Ofset
LEAD	55,74	142,71	63,38
TRAIL	86,17	67,85	54,58

b)

Magenta	Omega	Rho 512	Ofset
LEAD	53,37	299,36	55,24
TRAIL	71,19	151,37	58

c)

Žuta	Omega	Rho 512	Ofset
LEAD	65,58	161,7	76,23
TRAIL	86,54	171,32	47,53

d)

Crna	Omega	Rho 512	Ofset
LEAD	86,27	183,71	49,64
TRAIL	86,54	171,32	47,53